



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.

Memoria

Trabajo final de grado

Titulación: Grado en Ingeniería Civil.

Curso: 2017/18

Autor: Claudio Chust Martínez

Tutor: Pérez Martín, Miguel Ángel

Valencia, junio de 2018



MEMORIA

ÍNDICE:

1. Introducción	6
1.1 Conceptos previos.....	6
1.2 Reseña histórica de la explotación eólica	11
1.3 Situación actual de la energía eólica	12
1.4 La energía eólica en España	14
1.5 Objetivos	18
2. Antecedentes	19
3. Localización	20
4. Metodología	21
4.1 Metodología para el análisis de emplazamiento:	22
Criterios de emplazamiento:.....	23
Procedimiento de selección de emplazamientos	33
4.2 Metodología para el análisis de producción de los aerogeneradores	34
Análisis del régimen de vientos	35
Cálculo de Producción	38
4.3 Metodología para el análisis económico de los aerogeneradores	41
Datos de partida.....	42
Flujo de Caja	42
Valor Actual Neto	43
Tasa Interna de Retorno.....	43
PayBack	44
5. Análisis de emplazamiento	45
5.1 División en zonas:.....	45
5.2 Emplazamientos que cumplen el criterio energético	46
5.3 Descarte de emplazamientos que incumplen el criterio ambiental	53
5.4 Estudio detallado de los emplazamientos y criterio de ubicación.....	58
Parques eólicos existentes	58
Capacidad mínima de potencia del parque eólico	59
Proximidad de los emplazamientos a la Línea Eléctrica.....	60



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



Margen de seguridad ambiental y longitud disponible para la distribución de las turbinas	62
6. Análisis de aerogeneradores	73
6.1 Análisis de productividad y rendimiento	75
Análisis del Régimen de Vientos	75
Cálculo de producción.....	83
Resumen del Análisis de Producción.....	88
6.2 Análisis económico.....	89
Supuestos de partida.....	89
Flujo de Caja	89
Valor Actual Neto y TIR	91
PayBack	92
Resumen del Análisis económico.....	93
7. Resumen y conclusiones	94
8. Bibliografía y referencias.....	95



ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Partes de un Aerogenerador	6
Ilustración 2. Mapa de Vientos de España	8
Ilustración 3. Perfil de velocidad del viento en función de la altura y la rugosidad del terreno	10
Ilustración 4. Potencia eólica instalada a nivel global.....	12
Ilustración 5 Primeros países productores de energía eólica acumulada e instalada durante este año (2017)	13
Ilustración 6. Potencial instalado de los países europeos.....	13
Ilustración 7. Potencial Instalado en las Comunidades Autónomas de España.....	14
Ilustración 8. Potencial instalado según fuentes de energía	15
Ilustración 9. Producción de energía eléctrica según la fuente de energía	16
Ilustración 10. Demanda energética del país y las formas de energía que la ocupan	17
Ilustración 11. Mapa político y geográfico de Alicante	20
Ilustración 12. Esquema de la metodología	21
Ilustración 13. Mapa de Vientos del IDAE con intervalos de viento	23
Ilustración 14. Mapa de los Espacios Naturales Protegidos en el aplicativo IDAE.....	25
Ilustración 15. Mapa LIC de Alicante	26
Ilustración 16. Mapa ZEPA de Alicante	28
Ilustración 17. Parques eólicos instalados en la Comunidad Valenciana.....	29
Ilustración 18. Red Eléctrica Española en la provincia de Alicante	30
Ilustración 19. Distribución de mínimas distancias en la línea de Aerogeneradores	31
Ilustración 20. Ejemplo de rosa de vientos	34
Ilustración 21. Gráfica de la Densidad Weibull de la Distribución estadística de vientos	37
Ilustración 22. comparación de curvas de potencia y curvas de potencia corregida	39
Ilustración 23. Curvas de producción de distintos aerogeneradores	39
Ilustración 24. Ejemplo de inversión simple	44
Ilustración 25. Mapa de las Zonas de Alicante.....	45
Ilustración 26. Vega Baja del Segura, criterio energético	46
Ilustración 27. Bajo Vinalopó, criterio energético.....	47
Ilustración 28. Sierra de Crevillent, criterio energético	47
Ilustración 29. Alto y Medio Vinalopó, criterio energético	48
Ilustración 30. Interior de Alicante, criterio energético.....	49
Ilustración 31. Marina baja y Alicanti, criterio energético	50
Ilustración 32. Alcoi, criterio energético	51
Ilustración 33. Marina Alta, criterio energético	52
Ilustración 34. Vega Baja del Segura, criterio ambiental	53
Ilustración 35. Medio y Alto Vinalopó, criterio ambiental.....	54
Ilustración 36. Interior de Alicante, criterio ambiental.....	55
Ilustración 37. Marina Baja y Alicanti, criterio ambiental.....	56
Ilustración 38. Alcoi, criterio ambiental	56
Ilustración 39. Marina Alta, criterio ambiental	57
Ilustración 40. Territorios viables en Azul, sobre las 3 Zonas analizadas.....	58
Ilustración 41. Red Eléctrica en Medio y Alto Vinalopó	60
Ilustración 42. Red Eléctrica en el Interior de Alicante	60



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



Ilustración 43. Red eléctrica en Marina Alta	61
Ilustración 44. Medio y Alto Vinalopó, criterio de ubicación	63
Ilustración 45. Interior de Alicante, criterio de ubicación	67
Ilustración 46. Marina Alta, criterio de ubicación	70
Ilustración 47. Enercon E-141 EP4.....	73
Ilustración 48. Enercon E-138 EP3.....	73
Ilustración 49. Probabilidad acumulada de la distribución de vientos a las alturas de los aerogeneradores	82
Ilustración 50. Densidad Weibull para cada altura de aerogeneradores.....	82
Ilustración 51. Curvas de Potencia corregidas en KW	85
Ilustración 52. Produccion de los aerogeneradores en kW	87
Ilustración 53. Flujo de Caja Enercon EP3	90
Ilustración 54. Flujo de Caja Enercon EP4	90



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lugares de Interés Comunitario en la provincia de Alicante.....	27
Tabla 2. Zonas de Especial Protección para las Aves en Alicante	28
Tabla 3. Territorios de la Vega Baja del Segura, criterio energético.....	46
Tabla 4. Territorios de Sierra de Crevillent, criterio energético.....	47
Tabla 5. Territorios de Medio y Alto Vinalopó, criterio energético	48
Tabla 6. Territorios del Interior de Alicante, criterio energético	49
Tabla 7. Territorios de Marina Baja y Alicanti, criterio energético	50
Tabla 8. Territorios de Alcoi, criterio energético	51
Tabla 9. Territorios de la Marina Alta, criterio energético.....	52
Tabla 10. Datos técnicos SG 4.5 -145	74
Tabla 11. Datos técnicos SG 3.4 -132	74
Tabla 12. Información del emplazamiento Serra del Castillet de la Solana.....	75
Tabla 13. Velocidades de viento media en cada estación del año.....	75
Tabla 14. Propiedades del emplazamiento según las alturas de cada modelo de aerogenerador	76
Tabla 15. Régimen de Vientos Weibull para el Modelo EP4	77
Tabla 16. Régimen de vientos Weibull para modelo EP3	79
Tabla 17. Régimen de vientos para SG 4.5.....	80
Tabla 18. Régimen de Vientos Weibull para modelo SG 3.4.....	81
Tabla 19. Curvas de potencia de los fabricantes.....	84
Tabla 20. Factor corrector para las Curvas de potencia en función de la densidad de viento ...	84
Tabla 21. Tabla de Producción de los Aerogeneradores.....	86
Tabla 22. Tabla resumen de las Producciones de los modelos.....	87
Tabla 23. Valores de Inversión, ingresos y gastos.....	89
Tabla 24. Flujo de Caja durante la vida útil de las turbinas eólicas.....	89
Tabla 25. PayBack de Siemens Gamesa, años de recuperación de la inversión	92
Tabla 26. PayBack de Enercon, años de recuperación de la inversión	92

1. Introducción

1.1 Conceptos previos

La energía eólica es aquella capacidad de un sistema que hace uso del viento para transformar su velocidad en trabajo útil.

Se trata de una forma de energía limpia, basada en un recurso de la naturaleza inagotable, donde los ciclos de consumo y reposición están en la misma escala de tiempo.

Esta forma de energía es explotada a través de aerogeneradores, con un sistema de funcionamiento similar a los antiguos molinos de viento de los que también recibe su morfología.

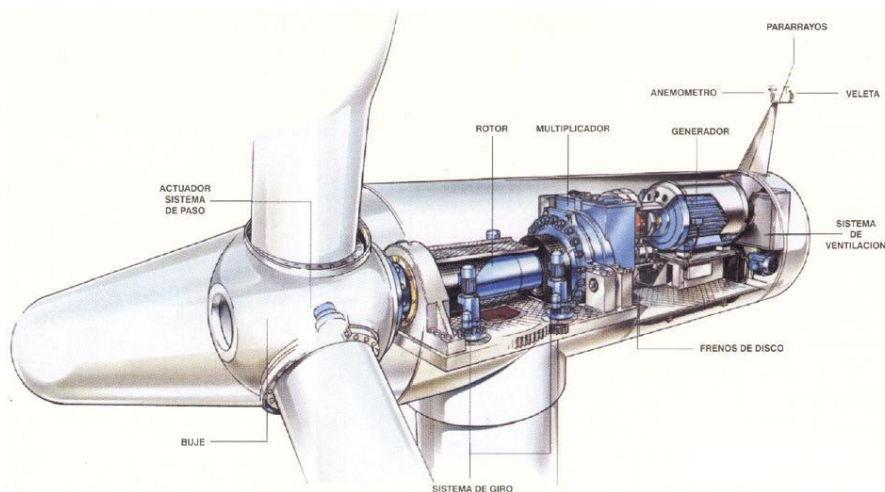


Ilustración 1. Partes de un Aerogenerador

El equipo está compuesto por una torre de gran altura que sustenta una turbina eólica en la parte superior. La turbina se pone en funcionamiento gracias al flujo del aire que incide sobre las aspas. Cuando las aspas oscilan, el buje y su eje lento giran con él. El eje lento queda instalado a un multiplicador que incrementa la velocidad de giro y que le cede inmediatamente al eje rápido. Esta energía cinética que aporta el eje rápido es recibida por el generador eléctrico y, con ayuda de imanes y propiedades de inducción electromagnética, se produce un voltaje eléctrico.

Dicho voltaje eléctrico es el responsable de producir la electricidad.



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



Se sabe que los aerogeneradores están conectados a las grandes redes de distribución de energía eléctrica y para la instalación de nuevos parques eólicos se buscan ubicaciones próximas a ella. De lo contrario supondría extender la red a las zonas marginadas añadiendo sobrecostes a la construcción en forma de obras auxiliares.

Para realizar una estimación del potencial de un emplazamiento (y ver si resultaría provechoso instalar un aerogenerador allí) es necesario conocer los factores principales que estimulan su obtención:

Para ello nos adelantamos a asegurar que, la cantidad de energía producida por un aerogenerador dependerá (como se comprobará más adelante) de dos factores fundamentalmente: La velocidad del viento y el radio de las palas del aerogenerador. Uno con mayor grado de importancia que otro.

Demostración:

El flujo del aire es expresado como energía cinética.

La expresión es:

$$Potencia = \frac{Energía\ cinética}{Tiempo} = \frac{\frac{1}{2} masa * velocidad^2}{tiempo}$$

Y siendo entonces la “masa” del aire como el producto de su densidad “ ρ ” (afectada además por la temperatura) multiplicado por su “volumen” ...

$$"masa = \rho * volumen"$$

Y siendo el “volumen” el cilindro de aire que entra en el área de las aspas (A) por una longitud (L) equivalente al producto de la velocidad del viento por el tiempo transcurrido

...

$$"Volumen = A * L = (\pi * radio\ de\ la\ pala^2) * (velocidad * tiempo)"$$

La fórmula de la Potencia nos quedaría finalmente (aplicando las expresiones anteriores) de la siguiente forma:

$$Potencia = \frac{1}{2} \rho * (\pi * radio^2) * velocidad^3$$

Para v (m/s), r (m), d (kg/m³) la Potencia será dada en vatios (W)

Entonces sabemos que la potencia que defina a un aerogenerador en funcionamiento dependerá cúbicamente de la velocidad del aire y cuadráticamente del radio de la pala que se haya instalado, así como la densidad del aire predominante a la altura del buje.



Ilustración 2. Mapa de Vientos de España

Este mapa de vientos de España indica las áreas con un mayor recurso eólico. Es facilitado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. La información que aporta es de gran utilidad, pues la velocidad del viento es el factor más significativo en la obtención de energética eólica.

Uno de los aspectos positivos de la energía eólica frente a otras energías renovables es que, al igual que sucede en las centrales de paneles solares o las presas, un parque eólico ofrecer menor entidad de espacio, y el área ocupada por los molinos es de fácil restauración.

Además, la explotación de las instalaciones no contamina y el costo de las turbinas eólicas y su mantenimiento son relativamente bajos.

Sin embargo, la energía eólica también presenta inconvenientes, pues el viento no está garantizado. El clima es impredecible y para llevar a cabo una inversión, debe estimarse con anterioridad la optimización de los aerogeneradores en la zona.

Un parque eólico provoca un impacto visual en el paisaje, pues son obras de gran altura y las aves sufren las consecuencias de estas construcciones, ya que las aspas de los molinos, cuando oscilan a gran velocidad, son imperceptibles para ellas.



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



Con todo esto, cabe preguntarse si es o no, la energía eólica, una forma de energía conveniente para el futuro.

En la actualidad, el estado de las fuentes de energía no renovables (aunque bien adaptadas a la tecnología) resultan cada vez más escasas y su uso tiene implicaciones peligrosas y nocivas para el medio ambiente y la calidad de vida de las personas.

No podemos ignorar, por otro lado, la dependencia que supone obtener estos recursos tan escasos de los países exportadores, que tienen el control de la producción y el precio de los combustibles fósiles.

Esto hace que sea necesario incorporar energías alternativas más limpias que faciliten y aseguren el autoconsumo.

En vistas de prevenir situaciones desfavorables, las energías renovables son una forma válida de abordar estos problemas. Por ello se encuentran actualmente a la vista de un continuo desarrollo tecnológico.

Sin embargo, aunque un parque eólico presente atractivas ventajas y transparencias, su construcción exige ciertos condicionantes:

Como ya hemos mencionado, el comportamiento del viento es esencial para optimizar la generación de energía. El perfil de la velocidad del viento es logarítmico y es dependiente de la altura. Esto es debido al rozamiento derivado del suelo, los edificios, la vegetación... etc.

La expresión del perfil de viento es la siguiente:

$$V = V_{ref} \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_{ref}/z_0)}$$

Para (z_0) el coeficiente de longitud de rugosidad del terreno, (z_{ref}) la altura de referencia y (z) la altura del buje del aerogenerador. V_{ref} es la lectura del viento en una posición concreta.

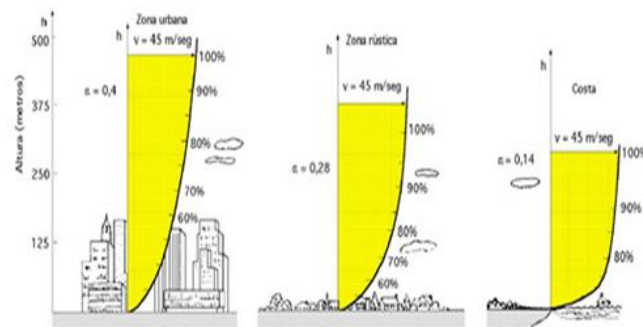


Ilustración 3. Perfil de velocidad del viento en función de la altura y la rugosidad del terreno

Podemos decir entonces, como se comprueba en la imagen, lo provechoso que resulta instalar un parque eólico en un terreno despejado o en el mar, en lugar de hacerlo próximo a la ciudad.

En el segundo caso llevaría a la instalación de torres de mayor altura y presupuesto para alcanzar velocidades apreciables, sin contar con el ruido que produciría su funcionamiento a las áreas adyacentes.

Resumiendo: es imprescindible, para llevar a cabo un proyecto tan necesario y de estas particularidades concretas: estimar y realizar un análisis de los factores tales como el emplazamiento, las características constructivas del parque y los rasgos del viento en la zona, sin olvidar la preservación del medio natural con una simultánea explotación eficiente.



1.2 Reseña histórica de la explotación eólica

El viento ha sido un recurso empleado desde la aparición de los primeros barcos de vela. Los registros datan el empleo del viento entre el milenio IV y V antes de cristo, en Egipto. Ya para entonces la energía eólica era una inestimable capacidad natural para generar trabajo mecánico.

Es sabido que la naturaleza abarca todo aquello que existe. Es un ente gobernado en el interior de sus propias leyes y queda delimitado por el desarrollo armonizado de los sucesos.

Esta idea deductiva de la naturaleza ha motivado al ser humano a estudiar su comportamiento mediante el lenguaje matemático y el análisis empírico. De este modo, el conocimiento técnico aplicado que representa la tecnología se ha visto enriquecida con el paso del tiempo, permitiendo el aprovechamiento del entorno y mejorando su adecuación con el medio.

A la navegación le siguió el empleo de instalaciones eólicas en tierra, molinos con rotor vertical que, accionados por el viento y de forma austera, con varias palas de madera o caña, permitían regar las llanuras o moler el grano. Esta idea surgió en la actual Afganistán en el siglo VII antes de cristo, y continuó sofisticándose posteriormente.

Llegada la Revolución industrial y con la máquina de vapor, la energía eólica perdió su protagonismo. Es importante señalar que, sólo hasta hace pocos años, el uso de la energía eólica no había estado tan extendida.

En los primeros años del siglo XIX, comenzó a germinar su interés práctico. Lord Kelvin (físico y matemático británico) ideó el antecedente de lo que será en su día el aerogenerador, pues todavía, casi 50 años después de la patente, no existiría la dinamo.

La combinación de esta patente con las herramientas tecnológicas oportunas permitió a Poul la Cour (meteorólogo danés) materializar esta idea con la construcción de la primera turbina eólica. Tras este acontecimiento, grupos de empresas danesas adoptaron este método y alcanzaron una producción energética del 3% del total producido en el país.

Llegados los años 70, con la crisis del petróleo, se comenzó a apreciar alternativas energéticas a las convencionales. La energía eólica resultó entonces una opción interesante y afianzó su identidad en los años 80, cuando los gobiernos internacionales fueron promoviendo la energía eólica a modo de subvenciones y programas de investigación.

Hasta entonces, esta tecnología ha mejorado en viabilidad productiva y coste.

1.3 Situación actual de la energía eólica

La industria eólica crece de manera progresiva cada año. Las invenciones tecnológicas en los parques eólicos han dado resultado a un menor coste constructivo y una mayor producción energética, por lo que es cada vez más rentable y competitiva su incorporación.

A nivel mundial, la energía eólica instalada ha crecido un 10% en 2017 con respecto al último año, llegando a la cifra de 539.123 Megavatios, según datos del Global Wind Energy Council (GWEC).

Como ha sucedido desde el 2014, anualmente se ha guardado un ritmo de instalación que supera los 50 Gigavatios de potencia. Un dato muy positivo.

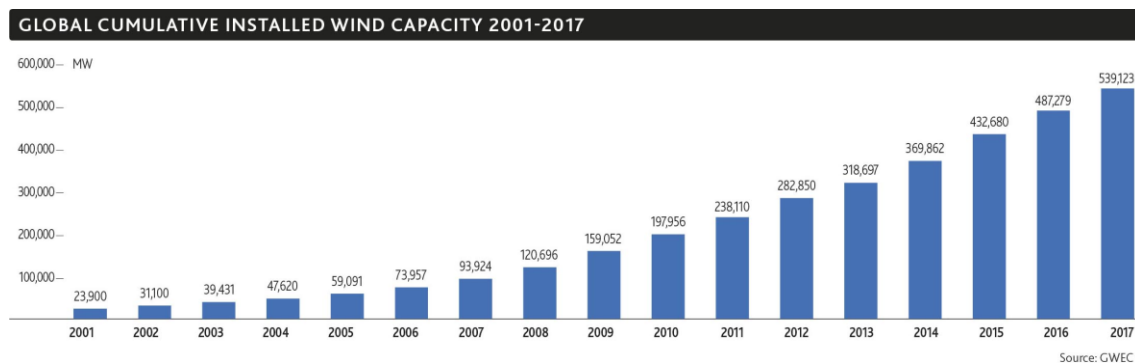


Ilustración 4. Potencia eólica instalada a nivel global

En la actualidad, China ocupa el primer puesto productor de energía eólica con un 35% en el mundo. Estados Unidos le sigue con un 17% y Alemania, India y España ocupan los puestos siguientes.

En concreto, China y Estados Unidos, por su parte, conservan su línea progresiva de instalación anual.

Paralelamente, en Europa, y con su respectiva relación energética, a lo largo de este año, los países europeos como Alemania, Reino Unido y (en menor medida) Francia, han instalado un alto potencial eólico en 2017.

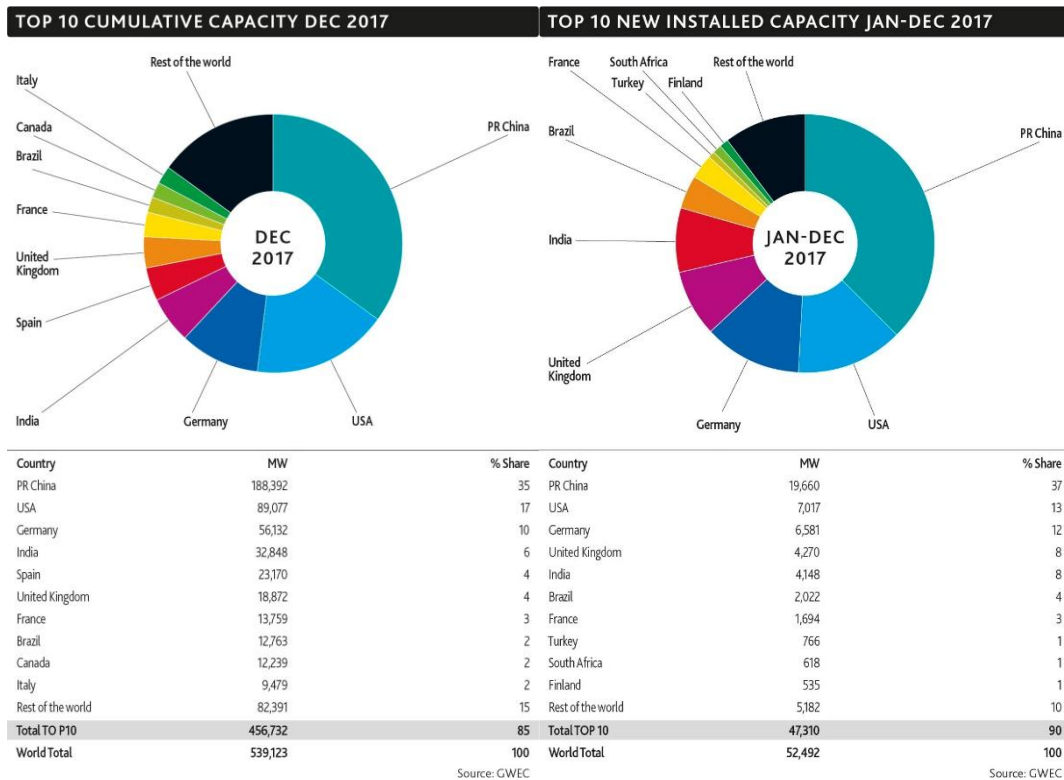


Ilustración 5 Primeros países productores de energía eólica acumulada e instalada durante este año (2017)

La posición de Alemania es cada vez más sólida, pues ya es el primer país europeo en potencia acumulada sacándole un margen del 100% al segundo país europeo, España.

EUROPE	Germany	Spain	UK	France	Italy	Turkey	Sweden	Poland	Denmark	Portugal	Netherlands	Ireland	Romania	Belgium	Austria	Finland	Rest of EU	EU-28*	Rest of Europe†	Total Europe
	50,019	23,075	14,602	12,065	9,227	6,091	6,494	5,807	5,230	5,316	4,328	2,701	3,024	2,378	2,632	1,539	5,294	153,731	7,612	161,342
	6,581	96	4,270	1,694	252	766	197	41	342	-	81	426	5	467	196	535	455	15,638	1,156	16,803
	56,132	23,170	18,872	13,759	9,479	6,857	6,691	5,848	5,476	5,316	4,341	3,127	3,029	2,843	2,828	2,071	5,745	168,729	8,777	177,506

Ilustración 6. Potencial instalado de los países europeos

Los países como Francia y Reino Unido comienzan a equipararse al potencial generador de España debido al crecimiento de este año. España, por el contrario, aunque ocupe un puesto privilegiado en el potencial instalado acumulado, apenas en 2017 ha incorporado 100 Megavatios más. Es importante analizar su situación.

1.4 La energía eólica en España

Como se comprueba en los datos recogidos, España es pionera en energía eólica. Su evolución histórica ha ido en crecimiento hasta llegar a una producción de 23.170 Megavatios de potencia acumulada en 2017, ocupando entre los 5 primeros puestos del mundo en la generación eléctrica.

Desde la década de 2000, la energía eólica en el país ha sido incentivada por el Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, que estimula las investigaciones y las inversiones en este sector mediante primas, según dice:

“La sociedad española actual, en el contexto de la reducción de la dependencia energética exterior, de un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles y de una mayor sensibilización ambiental, demanda cada vez más la utilización de las energías renovables y la eficiencia en la generación de electricidad, como principios básicos para conseguir un desarrollo sostenible desde un punto de vista económico, social y ambiental.

Además, la política energética nacional debe posibilitar, mediante la búsqueda de la eficiencia energética en la generación de electricidad y la utilización de fuentes de energía renovables, la reducción de gases de efecto invernadero de acuerdo con los compromisos adquiridos con la firma del protocolo de Kyoto.”

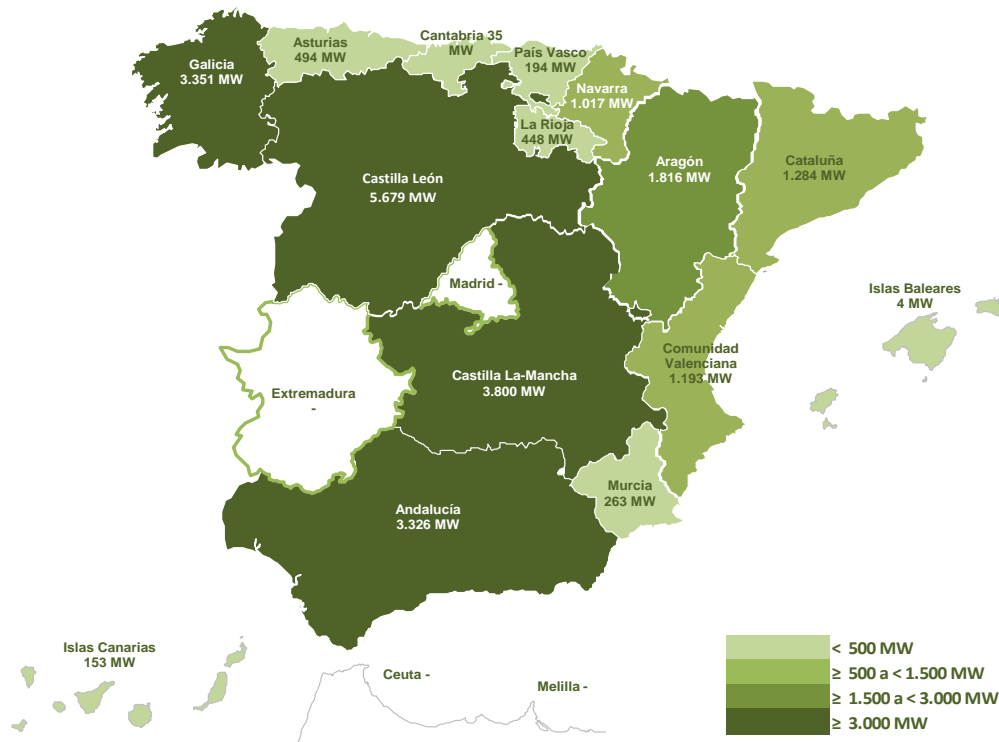


Ilustración 7. Potencial Instalado en las Comunidades Autónomas de España

La imagen mostrada nos informa del potencial eólico instalado en cada comunidad autónoma a principios del pasado año. Se puede comprobar que, tanto Galicia, Castilla León, Castilla la Mancha y Andalucía llevan la mayor capacidad generadora de la península.

La Comunidad Valenciana, en concreto, contribuye ligeramente a la generación eléctrica del país con casi 1,2 Gigavatios de potencia instalada. Bien es cierto que, con un viento no tan extremo como en otras ubicaciones del país (Andalucía o el norte de España, por ejemplo) no se ha llegado a una explotación tan agresiva de esta fuente energética.

Sin embargo, esto hace que resulte interesante el desarrollo de un estudio sobre la capacidad eólica generadora de la Comunidad de Valencia. Alicante, en concreto, es la única provincia de las tres en no albergar ningún aerogenerador.

En este sentido, resulta apropiado introducir las siguientes gráficas.

En ellas se muestra el estado de las fuentes de energías que dispone el país:

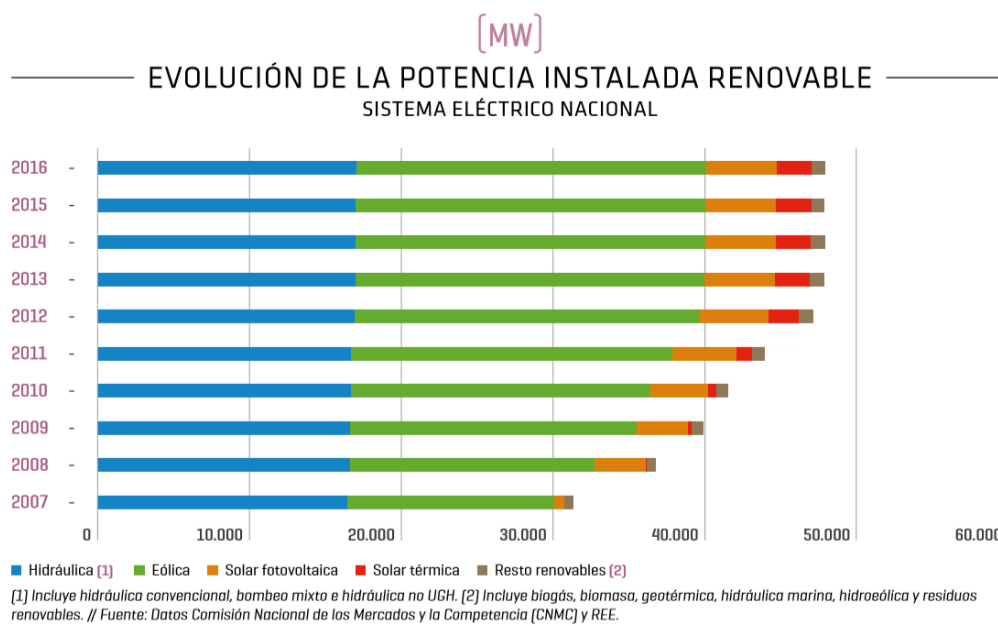


Ilustración 8. Potencial instalado según fuentes de energía

Estos últimos años, la energía eólica se ha estancado en su instalación potencial, al igual que el resto de las energías.

Sin embargo, en generación de energía eléctrica, el recurso eólico ocupa un lugar muy interesante:

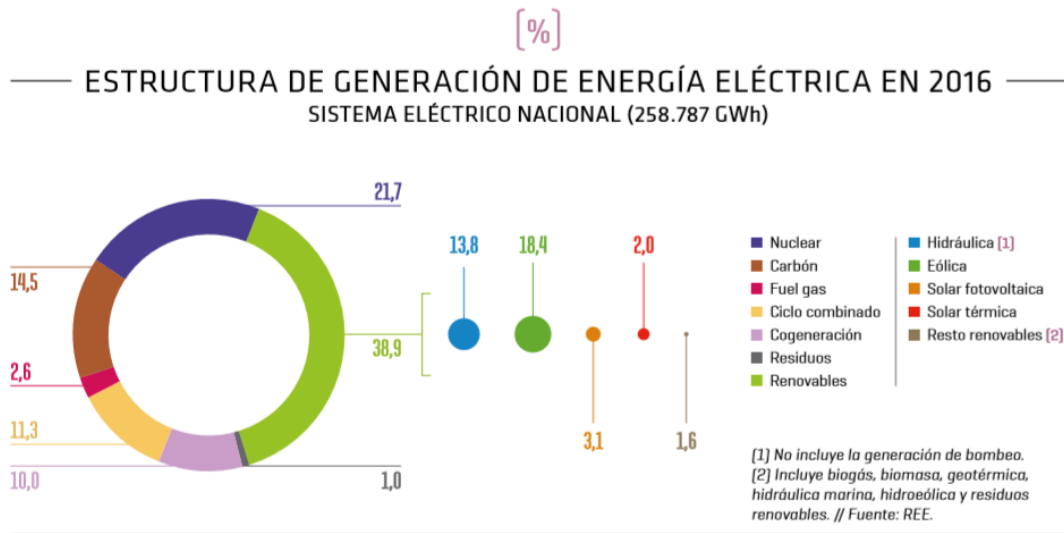


Ilustración 9. Producción de energía eléctrica según la fuente de energía

Resulta obvio que el sector eólico sea un asunto prioritario en la generación eléctrica y a la hora de cubrir la demanda energética del país.

Bien es cierto que el clima resulta impredecible y la producción que ofrece los molinos de viento esté afectada por estas condiciones variables.

Sin embargo, se han llegado a estimar tramos horarios en los que el funcionamiento de los aerogeneradores ha aprovechado una calidad del viento satisfactoria, alcanzado y cubriendo más de la mitad de la energía demandada de la región.

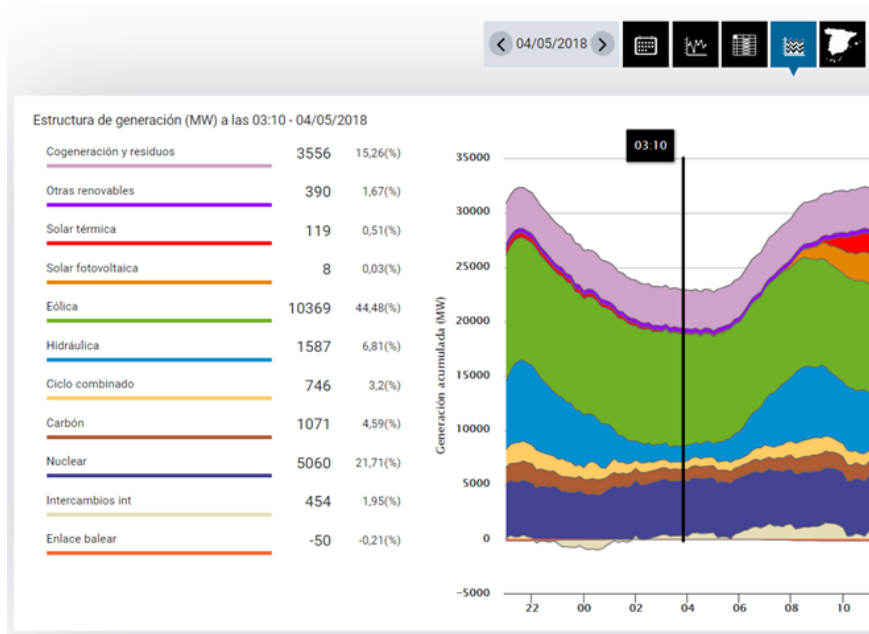


Ilustración 10. Demanda energética del país y las formas de energía que la ocupan

Es por ello por lo que, aunque se haya estancado la construcción de estas instalaciones, la energía eólica es una fuente de energía sostenible altamente recomendable y necesaria a largo plazo.

Estas imágenes han sido extraídas por la página Red eléctrica de España.

En el futuro se pretende que en 2020 se logre un consumo medio del 20% de energías limpias (actualmente se encuentran en el 18,4% de media). Será necesaria la colaboración entre administración y empresas para conseguir la puesta en marcha de los parques a tiempo, así como continuar la colaboración público-privada en Investigación.

Se prevé también que para el año 2020, 10.000 MW eólicos tendrán más de 15 años y será conveniente extender su vida útil o su repotenciación, asunto que pone en riesgo casi la mitad de la producción eléctrica debida al viento.

Ante esta situación, y visto las metas del país en alcanzar umbrales altos de energías limpias, se propone el estudio de viabilidad para la construcción de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante, ya que, en la búsqueda de estos objetivos, siempre ronda el asunto de la viabilidad constructiva, y es importante darle respuesta a tal cuestión.



1.5 Objetivos

En este trabajo final de grado se pretende hallar la capacidad energética eólica de la provincia de Alicante y comprobar si resultaría posible construir allí parques eólicos.

La necesidad de buscar fuentes de energías limpias, alternativas a las formas de energía convencionales, pone a la energía eólica en una situación de especial interés.

Por un lado, es una fuente de energía de la que goza de un constante desarrollo tecnológico y, por otro lado, la energía eólica ocupa una posición privilegiada en la producción de la electricidad total generada a nivel nacional.

El ámbito que abarca este estudio se centra exclusivamente en el campo on-shore (terrestre) pues es, por el momento, la única manera que se tiene seguridad y familiaridad suficiente para garantizar un proyecto rentable y sostenible.

Hasta ahora, la actividad off-shore se ha dado en países como Dinamarca e Inglaterra, y su implantación en España es inexistente, salvo un caso concreto al inicio de este año, en las islas de Gran Canaria. La tecnología off-shore supone, por el momento, unos sobrecostes de los que no podemos estimar de forma juiciosa en la viabilidad.

En concreto, este estudio de viabilidad realizado en Alicante busca llevar a cabo el desarrollo de tres objetivos:

El primero consiste en analizar el territorio de la provincia en busca de hallar los mejores emplazamientos para la construcción; atendiendo a las propiedades de la ubicación y las características del viento, así como el equipamiento logístico que pudieran tener.

Con esto se analizará el funcionamiento y los rendimientos de los distintos aerogeneradores en el mercado, que encajen mejor con el territorio previamente seleccionado.

Este análisis de producción nos informará del factor de utilización de cada modelo, así como las horas equivalentes de trabajo. Esta información supondrá unos datos de partida necesarios para realizar el análisis económico y estimar la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

(Los análisis tanto de producción como económicos realizados sobre los modelos de aerogeneradores constituyen el segundo objetivo.)

Para finalizar el trabajo se contrastará la información de los análisis y se concluirá sobre la capacidad energética eólica de la provincia, determinando si resulta viable o no dichas construcciones (tercer objetivo).

Esta conclusión también contendrá las comparaciones oportunas al resto de provincias de la Comunidad, ya que suponen una referencia importante en el recurso eólico.



2. Antecedentes

La realización de este estudio, tanto su redacción como su argumentación, está sujeta a los fundamentos de los aprovechamientos energéticos.

Se hace mención también de otros Trabajos finales de Grado de la misma naturaleza y, de los que han sido referencia, en concreto, los estudios de viabilidad realizados en las provincias de Valencia y Castellón.

Estos análisis realizados en la Comunidad Valenciana han llevado a la necesidad de completar la lectura de la capacidad energética en la provincia de Alicante, para una visión general sobre el recurso eólico aprovechable en toda la comunidad.

Otro antecedente interesante que ha servido para contrarrestar los resultados de los análisis ha sido el Plan Eólico de la Comunidad Valenciana actualizado, cuyo objeto es el de regular la instalación de parque eólicos ubicados en zonas aptas para su finalidad, de acuerdo con lo establecido en el capítulo correspondiente a las normas sobre Clasificación del territorio de la Comunidad Valenciana según su aptitud para ser soporte de instalaciones eólicas.

Otra fuente de información, que sirve de antecedente para el estudio de viabilidad es el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Un organismo adscrito al Ministerio de Industria, Energía y Turismo, mediante la Secretaría de Estado de Energía, de quien muestra dependencia orgánica al ministerio.

El objetivo del IDAE es el de contribuir a la consecución de las metas establecidas en el país con relación a los asuntos del desarrollo de la eficiencia energética, las energías renovables y otras tecnologías bajas en carbono. Esto constituye el marco estratégico de su actividad.

En este sentido, el IDAE lleva a cabo acciones de difusión y formación, asesoramiento técnico, desarrollo de programas específicos y financiación de proyectos de innovación tecnológica y carácter replicable.

Así mismo, el Instituto lidera una intensa actividad internacional en el marco de distintos programas europeos y cooperación con terceros países.

3. Localización

Alicante es una región de España situada al sureste de la península. que forma parte de la comunidad autónoma de Valencia, junto a las provincias de Valencia y Castellón.

Su frontera territorial sitúa a las provincias de Murcia y Albacete al suroeste, Valencia al norte, y al este el mar Mediterráneo.

La provincia ostenta un territorio en gran parte montañoso y accidentado. Las dos terceras partes del norte están formadas por sierras y diversos valles fluviales, que podría resultar una fuente interesante de recurso eólico.

Por otro lado, la tercera parte del sur constituye una gran llanura aluvial, aunque es de esperar casos excepcionales como la Sierra de Orihuela o la Sierra de Callosa.

Las montañas forman varias cadenas paralelas, dirigidas de suroeste a noreste y pertenecen a una parte del sistema Bético.

Se debe tener en cuenta que en Alicante existen grandes parques naturales, de los que son un territorio intocable en el planteamiento de proyectos y construcciones.

De las provincias que componen esta Comunidad, Alicante es aquella más meridional y de menor extensión.



Ilustración 11. Mapa político y geográfico de Alicante

Sin embargo, es la quinta provincia más poblada del país, y la más poblada de la Comunidad, con casi 1.900.000 habitantes registrados en 2016.

Está estructurada en 9 comarcas, repartidas en una extensión de 5.816 km cuadrados.

4. Metodología

Este apartado tiene la finalidad de detallar los procedimientos empleados del Estudio de viabilidad. Para cumplir con los objetivos se aborda el desarrollo desde dos perspectivas:

Por un lado, tenemos el análisis del emplazamiento y por otro el análisis de la productividad y rendimiento de los aerogeneradores.

Con los resultados hallados en ambos desarrollos se definirá la capacidad energética de la provincia de Alicante, concluyendo con la viabilidad del proyecto.

La estructura del trabajo se organiza de esta manera:



Ilustración 12. Esquema de la metodología



4.1 Metodología para el análisis de emplazamiento:

Para fijar la atención en los territorios más interesantes desde el punto de vista del recurso eólico, el análisis de emplazamiento atiende a una serie de criterios. Estas condiciones se imponen de manera restrictiva, de tal modo que la región viable cumplirá con todos los criterios.

Así se tendrá la certeza de la viabilidad territorial.

El resultado será un listado de posibles emplazamientos con una producción energética moderada; rentable desde el punto de vista técnico y constructivo; además de respetar (con márgenes de seguridad suficiente) las áreas susceptibles que estén dedicadas a la conservación de la naturaleza y que, por tanto, se encuentren sujetas a un régimen jurídico especial para su protección.

Criterios de emplazamiento:

Son tres los criterios a los que hacemos depender estas obras. La primera condición que enmarca y orienta a la región para un posterior estudio del detalle es el criterio energético. El segundo criterio aparece como un filtro que tamiza la selección previamente realizada (el criterio ambiental). Una vez coincidos el recurso eólico con el cuidado ambiental, aparece el criterio de ubicación, que guarda relación con los suministros y el inventario de la zona. Este último criterio marca una preferencia selectiva para la viabilidad entre un emplazamiento y otro.

a) Criterio energético:

Como ya se ha comentado en los conceptos previos, la energía que puede producir un aerogenerador depende (en su mayor parte) por la velocidad del viento recibida.

En la península ibérica, la velocidad predominante (y que por tanto resulta de menor interés) fluctúa entre los 4 y 5 metros por segundo.

La velocidad del viento que determina cada región se encuentra registrada por el mapa de vientos, a una altura de 80 metros con respecto a la cota del terreno, y que es facilitada por el aplicativo del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

En este Atlas Eólico el territorio es clasificado por colores. El color en este caso resulta un identificador para los intervalos de velocidad de viento y permite hallar con facilidad las zonas de mayor intensidad.

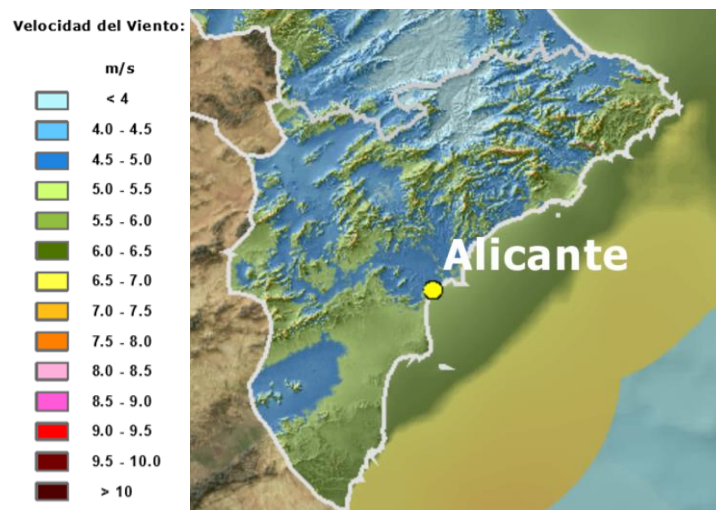


Ilustración 13. Mapa de Vientos del IDAE con intervalos de viento



En los trabajos de final de grado realizados en la Comunidad Valenciana (Plà, 2016) y (Palacios, 2017) se concluyó que una instalación de aerogeneradores de potencia intermedia (que ronde entre los 3,5 y 5,5 Megavatios) no será rentable para rangos de velocidad inferiores a 6 metros por segundo.

Es por ello por lo que, a modo de criterio energético, exigiremos zonas que alcancen una velocidad de 6,5 metros por segundo como mínimo, que el Atlas eólico reconozca.

b) Criterio ambiental:

Este criterio consiste en localizar las diferentes zonas protegidas en la provincia de Alicante que cubran e impidan la previa selección de los emplazamientos de alto recurso eólico.

Resulta necesario introducir el concepto de los Espacios Protegidos. Pues son aquellas áreas terrestres o marinas con valores naturales sobresalientes, que están dedicadas a la conservación de la naturaleza y, por tanto, son de interés por su protección.

Estos Espacios Protegidos son instrumentos fundamentales para la conservación in situ de la biodiversidad y se hace hincapié en subrayar que la pérdida de biodiversidad es constante y la conservación del ecosistema basado en la declaración de espacios aislados es insuficiente para frenar estas pérdidas.

En la actualidad, además de contar con estos espacios, se requiere de su integración en la planificación territorial y en las políticas de gestión de los usos del suelo y los recursos naturales.

En España, estos Espacios Protegidos quedan definidos y regulados con carácter básico por la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

Esta ley agrupa estos espacios en tres tipos distintos (en función de sus marcos jurídicos respectivos de origen): Los Espacios Naturales Protegidos, Los Espacios protegidos Red Natura 2000 y las Áreas protegidas por instrumentos internacionales.

Nuestro Criterio Ambiental queda determinado fundamentalmente por las áreas pertenecientes a los dos primeros tipos:

Espacios Naturales Protegidos y la Red Natura 2000.

Espacios Naturales Protegidos:

Por un lado, los Espacios Naturales Protegidos se han obtenido a partir del mapa de España que proporciona el Atlas Eólico del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía (IDAE), el cual incluye espacios tales como: parques nacionales, parques naturales, otros parques, reservas naturales, otras reservas, paisajes protegidos, parajes, monumentos naturales, biotopos protegidos y otras figuras.

Alicante en concreto aloja Parques naturales, Parajes Naturales Municipales, Reservas Naturales y Microreservas de flora.

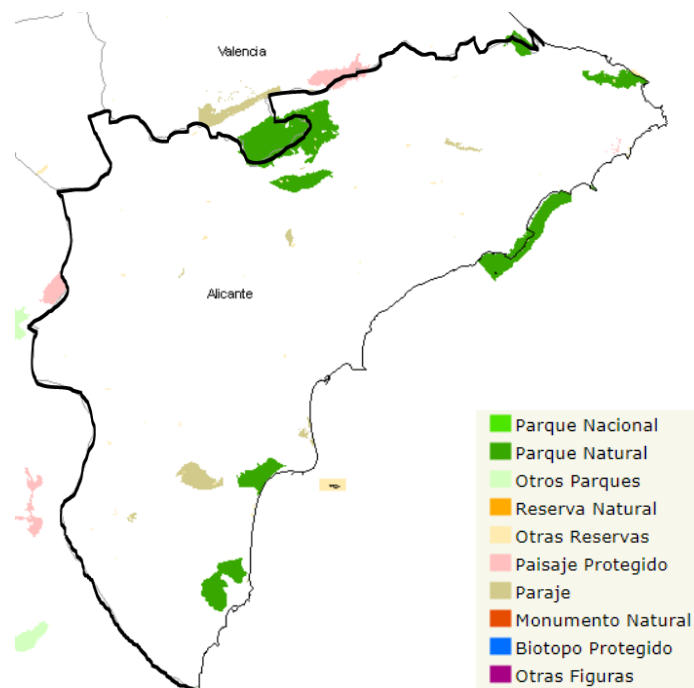


Ilustración 14. Mapa de los Espacios Naturales Protegidos en el aplicativo IDAE



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



Red Natura 2000:

Por otro lado, la Red Natura 2000 es una red ecológica europea de áreas de conservación de la biodiversidad, con la finalidad ya mencionada de asegurar la supervivencia a largo plazo de las especies, además de los tipos de hábitats europeos, contribuyendo a frenar la pérdida de biodiversidad latente.

La Red Natura 2000 es el principal instrumento para la conservación de la naturaleza en la Unión Europea.

En Alicante incluye una superficie equivalente de 130.252,65 hectáreas de (ZEPA) Zona de Especial Protección para las aves (El 85% de la superficie de Alicante) y 108.178,26 hectáreas de (LIC) Lugar de Interés Comunitario (El 71% de la superficie de la provincia).

Como se podrá deducir con estos porcentajes, existe el caso que algunos territorios fueran simultáneamente LIC y ZEPA.

Y siendo tan significativo estos altos porcentajes del espacio territorial, ya es un indicio de lo muy limitada que se encuentra Alicante ante la idea de albergar espacios viables para una instalación eólica de las características que se van a especificar.

Los *Lugares de Interés Comunitario* quedan definidos por el Patrimonio Natural y la Biodiversidad como “aquellos espacios del conjunto del territorio nacional o de las aguas marítimas bajo soberanía o jurisdicción nacional, incluidas la zona económica exclusiva y la plataforma continental (...) que contribuyen de forma apreciable al mantenimiento o, en su caso, al restablecimiento del estado de conservación favorable de los tipos de hábitat naturales y los hábitat de las especies de interés comunitario (...) en su área de distribución natural”.

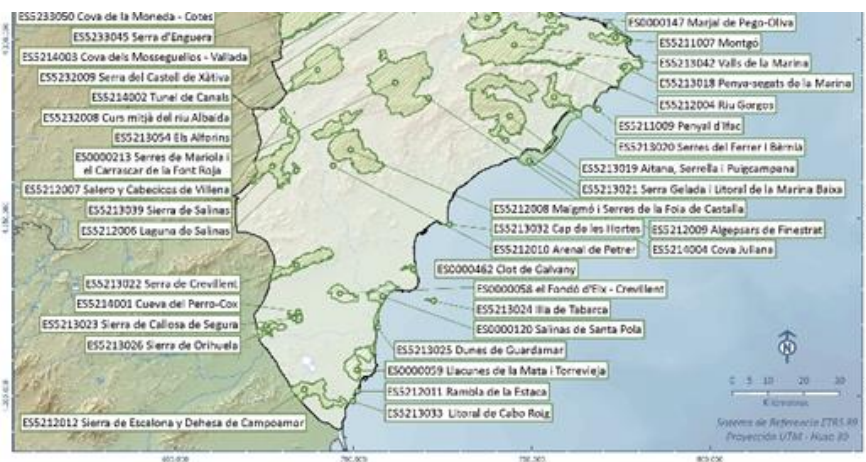


Ilustración 15. Mapa LIC de Alicante



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



Listado de LIC en Alicante:

ES0000059	Llacunes de la Mata i Torrevieja .
ES0000120	Salinas de Santa Pola .
ES0000147	Marjal de Pego-Oliva
ES0000213	Serres de Mariola i el Carrascar de la Font Roja
ES0000462	Clot de Galvany
ES5211007	Montgó
ES5211009	Penyal d'Ifac
ES5212004	Riu Gorgos
ES5212006	Laguna de Salinas
ES5212007	Salero y Cabecicos de Villena
ES5212008	Maigmo i Serres de la Foia de Castalla
ES5212009	Algepsars de Finestrat
ES5212010	Arenal de Petrer
ES5212011	Rambla de las Estacas
ES5212012	Sierra de Escalona y Dehesa de Campoamor
ES5213018	Penya-segats de la Marina
ES5213019	Aitana, Serrella i Puigcampana
ES5213020	Serres del Ferrer i Bèrnia
ES5213021	Serra Gelada i Litoral de la Marina Baixa
ES5213022	Serra de Crevillent
ES5213023	Sierra de Callosa de Segura
ES5213024	Illa de Tabarca
ES5213025	Dunes de Guardamar
ES5213026	Sierra de Orihuela
ES5213032	Cap de les Hortes
ES5213033	Litoral de Cabo Roig
ES5213039	Sierra de Salinas
ES5213042	Valls de la Marina
ES5213054	Els Alforins
ES5214001	Cueva del Perro-Cox
ES5214004	Cova Juliana
ES5233041	Serra de la Safor
ES5214002	Tunel de Canals
ES5214003	Cova dels Mosseguellos-Vallada
ES0000058	El Fondo d'Elx-Crevillent

Tabla 1. Lugares de Interés Comunitario en la provincia de Alicante

Las *Zonas de Especial Protección para las Aves* son áreas definidas en una categoría de área protegida catalogada por los estados miembros de la Unión Europea como zonas naturales de singular relevancia para la conservación de la avifauna amenazada de extinción.

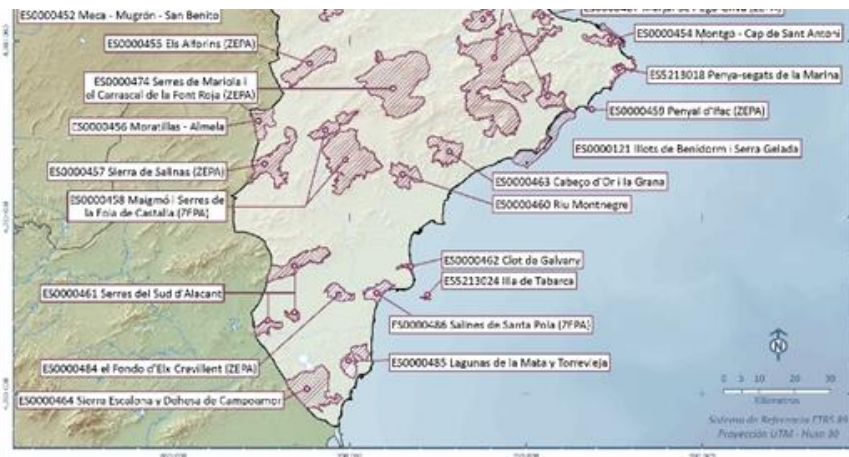


Ilustración 16. Mapa ZEPA de Alicante

Listado de ZEPA en Alicante:

ES0000121	Illots de Benidorm i Serra Gelada
ES0000453	Muntanyes de la Marina
ES0000454	Montgó-Cap de Sant Antoni
ES0000455	Els Alforins (ZEPA)
ES0000456	Moratillas-Almela
ES0000457	Sierra de Salinas (ZEPA)
ES0000458	Maigó i Serres de la Foia de Castalla (ZEPA)
ES0000459	Penyal d'Ifac (ZEPA)
ES0000460	Riu Montnegre
ES0000461	Serres del Sud d'Alacant
ES0000462	Clot de Galvany
ES0000463	Cabeço d'Or i la Grana
ES0000464	Sierra Escalona y Dehesa de Campoamor
ES0000474	Serres de Mariola i el Carrascal de la Font Roja
ES0000484	el Fondo d'Eix-Crevillent (ZEPA)
ES0000485	Lagunas de la Mata y Torrevieja (ZEPA)
ES0000486	Salines de Santa Pola (ZEPA)
ES0000487	Marjal de Pego-Oliva (ZEPA)
ES5213018	Penya-segats de la Marina
ES5213024	Illa de Tabarca

Tabla 2. Zonas de Especial Protección para las Aves en Alicante

c) Criterio de ubicación:

La posibilidad de la construcción de un parque eólico en una ubicación determinada también viene condicionada por las propiedades del emplazamiento. Es decir: de la existencia de un parque eólico construido con anterioridad, de la existencia de líneas eléctricas próximas, de la proximidad a una zona protegida, de la capacidad energética de la ubicación...etc.

Primer concepto: Los parques eólicos existentes resultan una idea interesante a la hora de descartar emplazamientos viables que ya hayan sido ocupados. Además, conocer las propiedades de esos aerogeneradores instalados en la provincia resultaría una información muy valiosa a la hora de estimar referencias sobre el potencial instalable en un territorio concreto.

Sin embargo, consultado el mapa eólico de la Comunidad Valenciana que nos ofrece la AEE (Asociación Empresarial Eólica), se observa que en Alicante no posee ningún parque eólico.

Dado que la Comunidad Valenciana presenta un recurso de viento similar y orientativo, vamos a tomar de referencia el resto de los parques eólicos que pudieran situarse en las provincias de Castellón y Valencia.

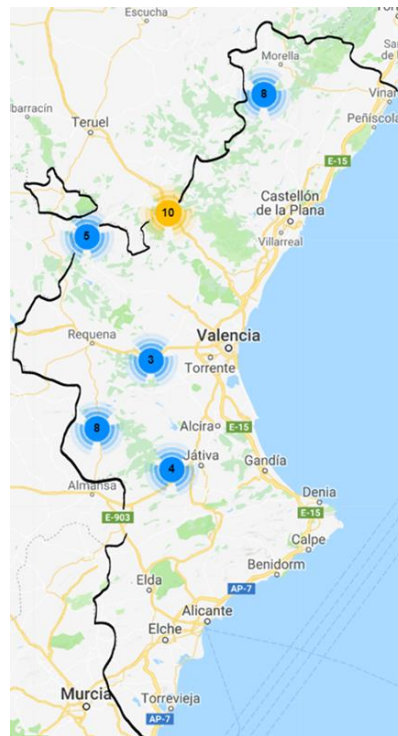


Ilustración 17. Parques eólicos instalados en la Comunidad Valenciana

Además de esto, consultando los trabajos de fin de grado de (Plà, 2016) y (Palacios, 2017), existe la similitud que en ambos casos se ha optado por una capacidad intermedia de aerogeneradores para vientos comprendidos entre los 6,5 y 8 metros por segundo.

Sería por tanto conveniente considerar unas turbinas eólicas que rondan un margen entre los 3,5 y 5,5 Megavatios para la provincia de Alicante, en el caso de encontrar emplazamientos viables para ello.

Segundo concepto: Las líneas eléctricas son un elemento importante desde el punto de vista económico. Es apreciable la proximidad del emplazamiento a alguna línea eléctrica ya construida, para poder proceder a la distribución de la energía eléctrica generada.

En el caso de que no exista ninguna línea eléctrica o subestación relativamente próxima a la ubicación del parque, sería conveniente realizar un análisis más exhaustivo para determinar si la construcción en dicho emplazamiento da márgenes de beneficio suficientes para estimar el coste de la obra auxiliar. Por el contrario, la energía que se llegase a producir no compensaría con el desembolso económico realizable.



Ilustración 18. Red Eléctrica Española en la provincia de Alicante

Aquí aparece el mapa del sistema eléctrico ibérico elaborado en enero del 2016 y facilitado por la Red Eléctrica de España. En él se aprecia una red de gran densidad.

Difícilmente quedarán excluidos los emplazamientos del abastecimiento eléctrico instalado, exceptuando algunas zonas interiores de la Marina Alta.

Cabe destacar las líneas rojas que se corresponden con tensiones de 400 kV; las líneas verdes, que se corresponden con tensiones de 220 kV; las líneas azules, que corresponden a tensiones de 150-220 kV y, por último, las líneas negras, que corresponden a tensiones de 60-110 kV.

Todas ellas necesarias para el transporte de la energía eléctrica.

Tercer concepto: La distancia a las zonas naturales protegidas las consideramos importantes desde un punto de vista más restrictivo. Si optamos por un resguardo mínimo de distancia equivalente a 1km con respecto a la zona protegida es precisamente para evitar polémicas con los grupos ecologistas y evitar sanciones relacionadas con la ordenación del territorio, además de asegurar una declaración de impacto ambiental favorable (aunque la no ocupación de las áreas protegidas ya resulte de por sí la única condición exigida, añadimos este margen para garantizar mayor fiabilidad).

Cuarto concepto: La capacidad energética también es una condición, pues si la zona que nos ocupa es de muy poca extensión, difícilmente los kilómetros de la línea de instalación de aerogeneradores no serán suficientes para colocar más de un par de turbinas eólicas.

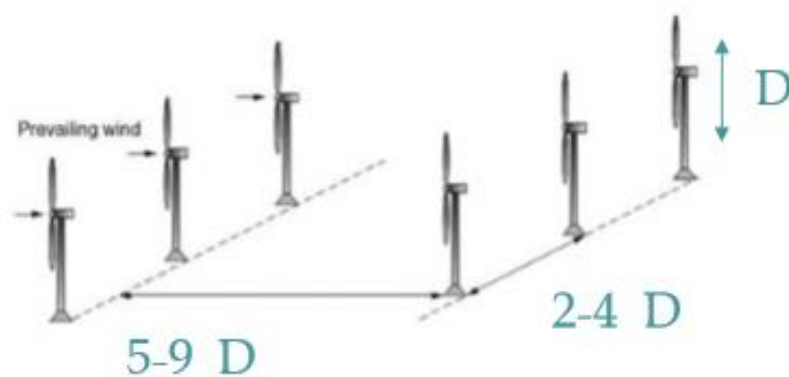


Ilustración 19. Distribución de mínimas distancias en la línea de Aerogeneradores



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



La posición que ocupará los aerogeneradores, a ser posible, será una disposición lineal de cara a la dirección predominante del viento. Si quedara desaprovechada el área del recurso eólico, se colocará paralelamente otra línea de aerogeneradores a una distancia mínima de 5 veces el tamaño del diámetro de las aspas del molino.

La distribución de los molinos deberá quedar al tresbolillo, como se observa en la imagen anterior.

Quinto concepto: Debemos considerar como mínimo un potencial equivalente de 20 Megavatios para el territorio. Pues en la comunidad valenciana no se ha visto un parque eólico con un valor inferior a 15 Megavatios.

De este modo, por referencia, vamos a intentar ofrecer una posibilidad de la que se saque provecho y no una posibilidad más bien precaria.

En resumen, estos 5 conceptos suponen los requisitos técnicos y logísticos a emplear a la hora de decidir la viabilidad de una región.



Procedimiento de selección de emplazamientos

En este apartado se procede a describir los pasos que llevaron a la selección de los emplazamientos más adecuados de la provincia:

En primer lugar, Alicante quedará dividida en zonas de análisis (normalmente delimitadas por las comarcas o las sierras) para facilitar una posterior búsqueda en detalle.

En segundo lugar, estas zonas de análisis quedarán filtradas por el criterio energético y, cumplido una vez éste, por el criterio ambiental. Se realizará un recuento de territorios para el primer criterio, y se irán descartando si incumplieran con el segundo.

Si existiera un territorio inferior a una hectárea quedará descartado, aunque el recurso eólico resulte de interés.

Tanto un criterio como otro estarán respaldados por la información aportada en el mapa de vientos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía.

En tercer lugar, se entrará en detalle a aquellas zonas que posean algún territorio con uno o grupo de emplazamientos viables, a falta de aplicar el tercero de los criterios.

Aplicando las condiciones de ubicación para el territorio viable nos quedarán los territorios más interesantes. Cada emplazamiento contará con una extensión lineal donde se dispondrán las filas de aerogeneradores en el emplazamiento.

Cumpliendo con todos los criterios, tendremos la certeza de la viabilidad y se dispondrá de información previa suficiente para estimar, a un nivel más general, sin especificar quizá el aerogenerador, la capacidad energética del emplazamiento ante un aerogenerador de potencial y tamaño intermedios.

En ese caso, la situación del análisis dará pie al estudio de la producción de los aerogeneradores más adecuado a las características del territorio viable.

Entre todas las opciones disponibles habrá un aerogenerador que asegure la mayor rentabilidad productiva y el menor coste y, entre ambas cosas, deberá concluirse cuál representará la mejor decisión.

Llegados a este punto, podremos regresar a cada uno de los emplazamientos para estimar la capacidad energética instalable en toda la provincia.

4.2 Metodología para el análisis de producción de los aerogeneradores

Para hallar el aerogenerador más conveniente para nuestro emplazamiento buscaremos cuatro modelos con un potencial intermedio entre 3,5 y 5,5 megavatios de las marcas Enercon y Siemens Gamesa.

Los aerogeneradores escogidos para el análisis se han elegido a través de la información técnica facilitada por los fabricantes, ya que bajo su propia descripción técnica (y a falta de comprobar en un caso específico como el nuestro) son los más adecuados para las zonas de viento promedios elegidos para la finalidad del proyecto.

Entonces se establecerá una base de referencia para poder comparar los distintos modelos y estimar cuál de ellos responde mejor ante las condiciones del emplazamiento.

Esto será posible con los cálculos de producción de los aerogeneradores. Pero para ello resultará indispensable tener con antelación los cálculos respectivos a los regímenes de viento, es decir: deberemos hallar la distribución estadística de vientos y la función de densidad y horas equivalentes, que son propias del emplazamiento seleccionado.

Será suficiente con elegir una localización representativa de la provincia de Alicante y extraer la información para determinar los datos de partida.

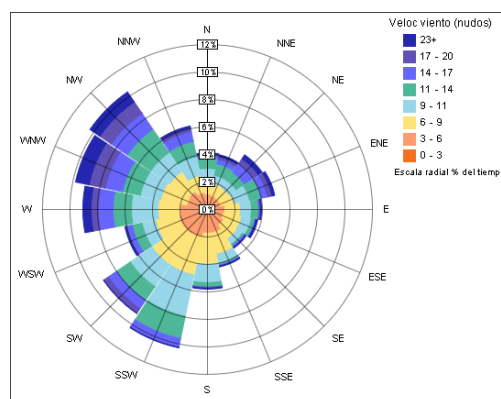


Ilustración 20. Ejemplo de rosa de vientos

Esta información será aplicada a las curvas de potencia de los modelos de aerogeneradores facilitadas por los fabricantes. Así definiremos su verdadera producción energética, es decir, los conceptos que determinan la producción y eficiencia de los aerogeneradores: el factor de utilización y las horas equivalentes de trabajo al año.



Análisis del régimen de vientos

Para modelar el comportamiento del viento recurrimos a una distribución estadística de vientos y a funciones de densidad probabilística:

Distribución estadística de vientos

Para definir la distribución estadística del viento deberemos emplear la función matemática Weibull. Esta función ha tenido múltiples aplicaciones (en el ámbito eólico y meteorológico, por ejemplo).

La función Weibull modela la distribución de fallos cuando la tasa de fallos es proporcional a una potencia del tiempo. Se trata de una función de densidad probabilística aplicada a un lugar concreto en el que se determina la frecuencia con la que el viento podría incidir, y para todas las distintas velocidades posibles.

Se expresa de esta forma:

$$f(x; \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

K es el parámetro de forma (es adimensional). λ es el parámetro de escala de la distribución. El parámetro de escala está en m/s y es un valor próximo a la velocidad media. X en nuestro caso es la velocidad del viento.

Si los valores de K son inferiores a la unidad, indica que la ocurrencia de fallos decrece con el tiempo. Si la K es equivalente a uno, la tasa resulta constante. Por el contrario, si K fuera mayor a la unidad significa que la ocurrencia de fallos crecerá con el tiempo.

Para desarrollar la distribución estadística de vientos es necesario, en primer lugar, escoger un punto del emplazamiento representativo en el aplicativo IDAE. La coordenada escogida debe representar la media del emplazamiento. De no ser así, resultaría conveniente seleccionar varios puntos estratégicos y efectuar la media aritmética.

La coordenada nos aportará información sobre la cota en la que se encuentra el terreno y su rugosidad, así como los valores de escala y de forma a 80 metros de altura. También nos aportará información sobre la velocidad media durante las estaciones.



Teniendo en cuenta que la altura del buje de cada modelo pudiera ser distinta a 80 metros, tendremos que recalcular la velocidad del viento en el buje y corregir el parámetro de escala.

El factor de corrección del parámetro de escala es equivalente a la división: Velocidad en el buje (calculado previamente) entre la Velocidad media de las estaciones (a 80 metros de altura).

La expresión, como se recordó en la definición del perfil del viento, es la siguiente:

$$Factor\ corrector = \frac{V}{V_{ref}} = \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_{ref}/z_0)}$$

Entonces para cada altura de aerogenerador deberemos asociarlo al parámetro K por su factor corrector y su velocidad de viento a la altura del buje. El parámetro de escala permanecerá idéntico (el hallado a 80 metros de altura nos sirve).

Con el parámetro de forma corregido y el parámetro de escala podremos obtener las expresiones de Probabilidad acumulada.

Esta expresión nos informará de la posibilidad que existe en el tiempo (y en esa ubicación concreta) de que aparezca una velocidad igual o inferior a la que hace referencia.

Función de densidad y horas equivalentes

La función de densidad surge de la Probabilidad acumulada. Es una expresión que indica la posibilidad de que una velocidad se manifieste a lo largo del tiempo, en esa ubicación concreta. Es hallada con la diferencia de probabilidades acumuladas entre una velocidad y otra que la precede.

La función de las horas equivalentes representará el número de horas que incide el viento a una velocidad concreta durante un año. Es el resultado del producto de la función de Densidad por el número de horas que dispone el año (8760 horas).

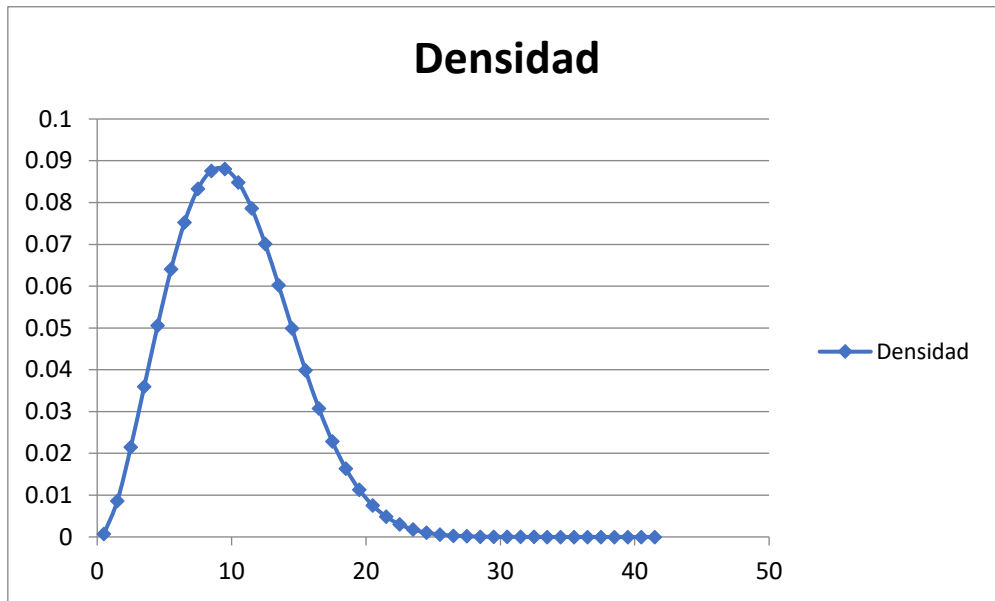


Ilustración 21. Gráfica de la Densidad Weibull de la Distribución estadística de vientos

De tal modo que estas 8760 horas serán repartidas en cada velocidad, indicando su mayor o menor persistencia en la ubicación.



Cálculo de Producción

Para el cálculo de producción de los modelos de aerogeneradores nos ayudaremos de la información técnica aportada por los fabricantes y el análisis del régimen de viento realizado.

Curvas de potencia de los aerogeneradores

Se deberá transcribir los valores de potencia aportados por algunos fabricantes. Pues existen algunos modelos que se han actualizado recientemente y sólo aparecen gráficos de porcentajes basados en su modelo predecesor.

Dado que nos interesa esta información numérica, cogeremos las curvas de potencia de los modelos antiguos y le incrementaremos el porcentaje que le corresponda al modelo actual.

Curvas de potencia corregidas

No basta con la información aportada por el fabricante. Para hallar la producción de los aerogeneradores en nuestro emplazamiento es imprescindible corregir esta Curva de potencia. Bastará con multiplicar los valores de la curva por un factor corrector, equivalente a la densidad de aire real entre una densidad de aire de referencia (tomada en nuestro caso al nivel del mar: cota 0 y $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$)

$$\text{Factor corrector de Potencia} = \frac{\rho}{\rho_0} = e^{-z/8435} - \frac{t - 15}{288}$$

Para “z” igual a la cota del buje en la que nos encontremos, pues ya hemos considerado la cota de referencia determinante de la densidad inicial al nivel del mar. Esto hace que para nosotros z sea el valor de la altura de buje más la cota del terreno.

Para “t” la temperatura del aire que hubiera a la altura del rotor.

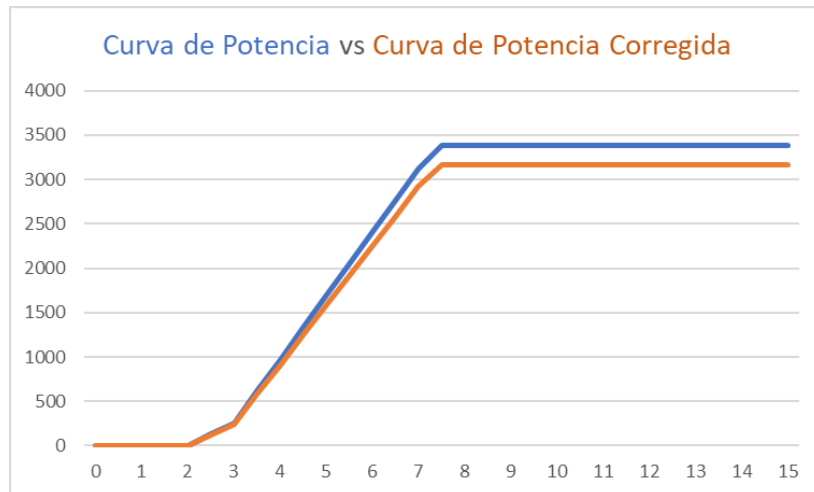


Ilustración 22. comparación de curvas de potencia y curvas de potencia corregida

Es importante señalar que, en caso de existir una fuerte distorsión de temperaturas, se escogerá estratégicamente varios puntos y estableceremos una media representativa para el emplazamiento, a la altura correspondiente.

Se recuerda que el factor corrector de Potencia será diferente para cada modelo (si son de distintas alturas).

Producción de los aerogeneradores

Finalmente, la Producción de los aerogeneradores será el resultado hallado por el producto de las curvas de potencia corregidas por las horas al año equivalentes (halladas en el análisis del régimen de vientos a través de la Densidad Weibull)

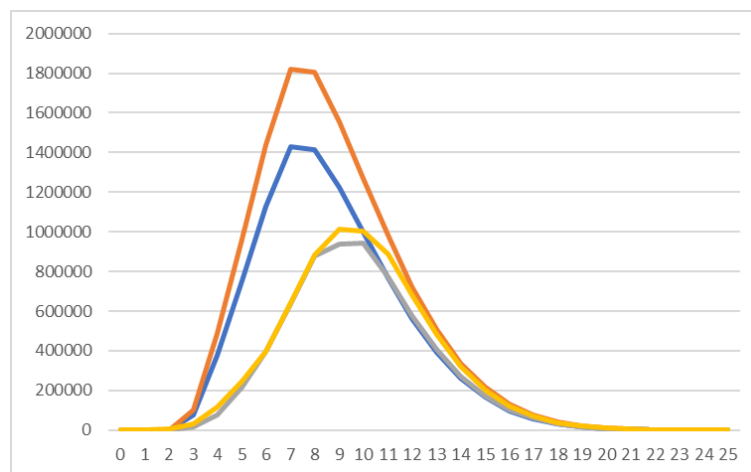


Ilustración 23. Curvas de producción de distintos aerogeneradores



Factor de utilización y Número de horas equivalentes

El Factor de utilización representa el porcentaje de rendimiento del modelo instalado. Cuanto más próximo al 100% menos se desaprovechan los recursos que dispone el aerogenerador.

Se calcula con la división de la *Producción Anual* entre la *Producción máxima*.

Siendo la *Producción Anual* el sumatorio de todos los valores de Producción de Aerogenerador de todas las velocidades representadas y la *Producción máxima* el resultado de la Potencia corregida más alta del modelo multiplicado por 8760 horas que tiene el año.

$$F.ut(\%) = \frac{Prod.}{Pnom * 8760}$$

El número de horas equivalentes, por otro lado, representa como bien dice la expresión, el número de horas útiles en los que el aerogenerador puede considerarse en funcionamiento. Cuanto más próximo a 8760 mayor aprovechamiento de la turbina.

El concepto se determina mediante la división de la *Producción Anual* entre el *Potencial Nominal*, información que es facilitada por el fabricante.

$$heq = \frac{Prod.}{Pnom}$$



4.3 Metodología para el análisis económico de los aerogeneradores

Una vez hallado los valores de la producción, será útil complementar esta información con un análisis económico. Este análisis evaluará la inversión total de la obra sobre el terreno, gastos de gestión y funcionamiento anual, y contribuirá a una visión más clara sobre qué aerogenerador deberemos disponer finalmente.

Cada aerogenerador será desarrollado en cuatro aspectos económicos que estimarán la rentabilidad del proyecto.

El Flujo de caja, el Valor Actual Neto, la Tasa Interna de Retorno y el Payback son las herramientas que definirán esta rentabilidad.

Para el desarrollo de estos conceptos económicos se supondrá un esquema conceptual aplicado a las propiedades del aerogenerador. Con dicha aplicación tendremos una estimación de lo que debería costar la inversión de la turbina eólica, los ingresos económicos que debiera producir su funcionamiento, así como los gastos que implicaría la explotación; a parte de su vida útil.

Se debe tener en cuenta que el análisis estadístico realizado en la producción energética de los aerogeneradores ha facilitado la interpretación de los rendimientos y por ende, la cantidad de ingresos derivados de su explotación.

Es por eso que se trata de una inversión del tipo simple, en el que el flujo de caja es constante. Esta idea facilita la elaboración del PayBack y simplifica la interpretación comparativa de los VAN y los TIR, pues ambos crecen, y dan significado a la rentabilidad y la viabilidad de la inversión, en un único sentido.



Para desarrollar el análisis y por tanto los 4 conceptos económicos que determinen la rentabilidad del aerogenerador, debemos disponer previamente de unos datos de partida.

Datos de partida

Estos datos de partida son el resultado de aplicar el siguiente esquema conceptual, también seguido por los trabajos de fin de grado realizados por. (Palacios, 2017) y (Plà, 2016):

1. La inversión inicial de un aerogenerador depende de sus Megavatios de potencia. Un megavatio de Potencia nominal equivale a un millón de euros.
2. Los ingresos que el aerogenerador proporciona es de 45 euros por Megavatio/hora.
3. Los gastos de explotación pueden suponerse de un 5% de los ingresos producidos al año.
4. La vida útil del aerogenerador es de 25 años.

Para mayor comodidad, los datos de partida quedarán ordenados en una tabla que muestre la información relativa a: su Potencial Nominal, su Inversión económica, la Producción (previamente hallada en el Análisis de Producción), sus Ingresos y los Gastos de explotación.

Flujo de Caja

El flujo de caja representa la información de la capacidad empresarial para saldar su deuda. Equivale a la diferencia monetaria entre los Ingresos que genera y los Gastos derivados de la explotación.

En este apartado crearemos una tabla y una gráfica en la que se puedan apreciar, para cada modelo de aerogenerador, el Flujo de Caja anual durante los 25 años que dure su vida útil, valorando también su inversión respectiva.

El flujo de caja será constante cada año según el modelo estadístico que se ha seguido en el análisis de producción.



Valor Actual Neto

El Valor Actual Neto es un criterio que valora la inversión del proyecto y actualiza los cobros y los pagos a lo largo de la vida útil de la instalación.

Este criterio da a conocer cuánto pudiera ganarse o perder en la inversión y, por tanto, se trata de un indicador que determina la viabilidad del proyecto y es de gran utilidad a la hora de considerar distintas opciones dentro de un mismo problema.

Su valor resultante se da en unidades monetarias.

La expresión es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+r)^t} - I$$

Para: “Vt” el valor del flujo de caja de cada periodo; “r” el tipo de descuento; “t” el número de años en el que se encuentre (hasta llegar a la vida útil, donde finaliza el sumatorio).

Tasa Interna de Retorno

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de rentabilidad que ofrece una inversión. Está dado en términos de porcentaje y representa el beneficio o pérdida que tendría una inversión para las cantidades que no se ha retirado del proyecto.

La Tasa Interna de Retorno guarda una relación analítica con la expresión del Valor Actual Neto, ya que representa el porcentaje de la tasa de descuento que hace que el VAN fuera igual a cero.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+TIR)^t} - I = 0$$

A mayor TIR, mayor rentabilidad. Si el TIR igual a 0, resulta una opción indiferente, la elección de esa opción debería someterse a otros criterios. Si el TIR fuera negativo, se deberá rechazar la inversión.

El principal problema radica en su cálculo, ya que el número de periodos dará el orden de la ecuación a resolver.

Para resolver este problema recurrimos a la función TIR de EXCEL, donde incorporaremos en el apartado de “valores” el coste de la inversión (en negativo) y los flujos de caja correspondientes a cada uno de los 25 años que dura su vida útil. En cuanto a su valor estimativo bastará con indicar un porcentaje que nos parezca próximo al resultado, aunque no resulta necesario definir la estimación, pues en ese caso supone un 10%.

PayBack

El PayBack es un método estático que evalúa la inversión y determina el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial del proyecto.



Ilustración 24. Ejemplo de inversión simple

En nuestro caso siendo los flujos de caja constantes a lo largo de los años (Inversión simple), la expresión del PayBack adquiere un aspecto muy simplificado, equivalente a la división de la Inversión entre el flujo de caja.

$$PayBack = \frac{I}{Vt}$$

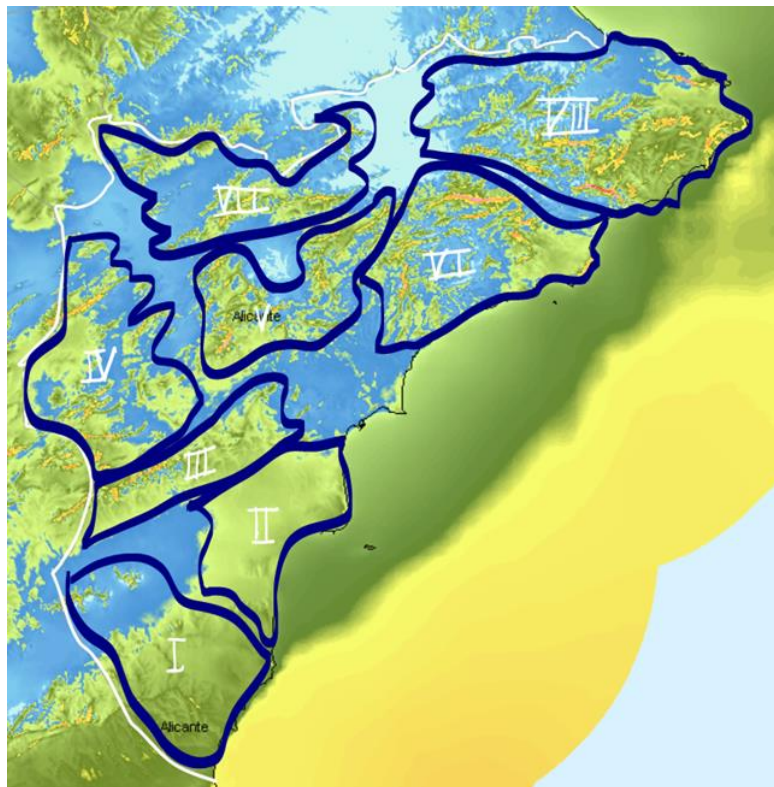
En el desarrollo, se añadirá una tabla que contendrá la deuda debida a la inversión a lo largo de los años, y el flujo de caja anual acumulado, con el fin de observar el progreso del beneficio debido a los ingresos producidos por el funcionamiento del aerogenerador.

5. Análisis de emplazamiento

5.1 División en zonas:

Alicante ha quedado estructurada en 8 zonas para facilitar la selección de los emplazamientos. Estas zonas disponen como mínimo una velocidad de 5 m/s, ya que en muchas de ellas se pueden encontrar posibles localizaciones con velocidades que superan los 6,5 m/s que, sin un análisis detallado de la zona, podrían pasar desapercibidos.

Las 8 zonas, ordenadas de Sur a Norte, son:



Zona 1: Vega Baja del Segura

Zona 2: Bajo Vinalopó

Zona 3: Sierra de Crevillent

Zona 4: Medio y Alto Vinalopó

Zona 5: Interior de Alicante

Zona 6: Marina Baja y Alicanti

Zona 7: Alcoi y Alto Vinalopó

Zona 8: Marina Alta

Ilustración 25. Mapa de las Zonas de Alicante

5.2 Emplazamientos que cumplen el criterio energético

Atendiendo a esta condición, ya podemos asegurar a priori que, en el Sur de Alicante, tanto la Zona (2) “Bajo Vinalopó”, como la Zona (1) “Vega Baja del Segura”, exceptuando la sierra de Orihuela y la sierra Callosa, resulta un territorio muy pobre desde el punto de vista eólico energético.

El resto de las zonas, por el momento, albergan emplazamientos interesantes. A continuación, se recopilan los territorios viables por zona. Cada territorio representa un emplazamiento o grupo de emplazamientos acotado (g.e). Esta tabla irá acompañada del mapa de vientos, a falta de aplicar los criterios restantes.

Zona (1) Vega Baja del Segura:

Territorios	Municipio
1. Sierra de Orihuela	Orihuela
2. Sierra de Callosa	Callosa, Cox, Redován
3. Pilar de la Horadada (g.e)	Pilar de la Horadada
4. San Miguel de Salinas	San Miguel de Salinas

Tabla 3. Territorios de la Vega Baja del Segura, criterio energético

Se aprecian también, a parte de los 4 territorios de la tabla, otros 3 territorios que no se tendrán en cuenta debido a su pequeño tamaño. Pues no llegan apenas a una hectárea.



Ilustración 26. Vega Baja del Segura, criterio energético

Zona (2) Bajo Vinalopó:

En la zona de Elche y Santa Pola no existe ningún territorio de interés. La zona (2) es retirada del procedimiento de selección.



Ilustración 27. Bajo Vinalopó, criterio energético

Zona (3) Sierra de Crevillente:

Territorios	Municipio
1. Sierra de Crevillent (g.e)	Crevillent

Tabla 4. Territorios de Sierra de Crevillent, criterio energético

La sierra de Crevillent dispone de emplazamientos interesantes con un intervalo de velocidades entre los 7 y 8,5 metros por segundo.



Ilustración 28. Sierra de Crevillent, criterio energético

Zona (4) Medio y Alto Vinalopó (Villena):

Territorios	Municipio
1. Sierra de Salinas	Salinas y Villena
2. Sierra de la Umbría y Sierra de Camara (g.e)	Elda y Salinas
3. Pinoso y Monóvar (g.e)	Pinoso y Monóvar
4. Alt de pina	Monóvar
5. Serra de l'Algaita	La romana
6. Serra dels Flares y Serra de Cofer (g.e)	Hondón de las Nieves

Tabla 5. Territorios de Medio y Alto Vinalopó, criterio energético

Del mismo modo que sucedía en la Zona (3) Sierra de Crevillent, Medio y Alto Vinalopó (Villena) alberga 5 territorios con el mismo recurso eólico y prácticamente de igual o mayor tamaño cada uno.

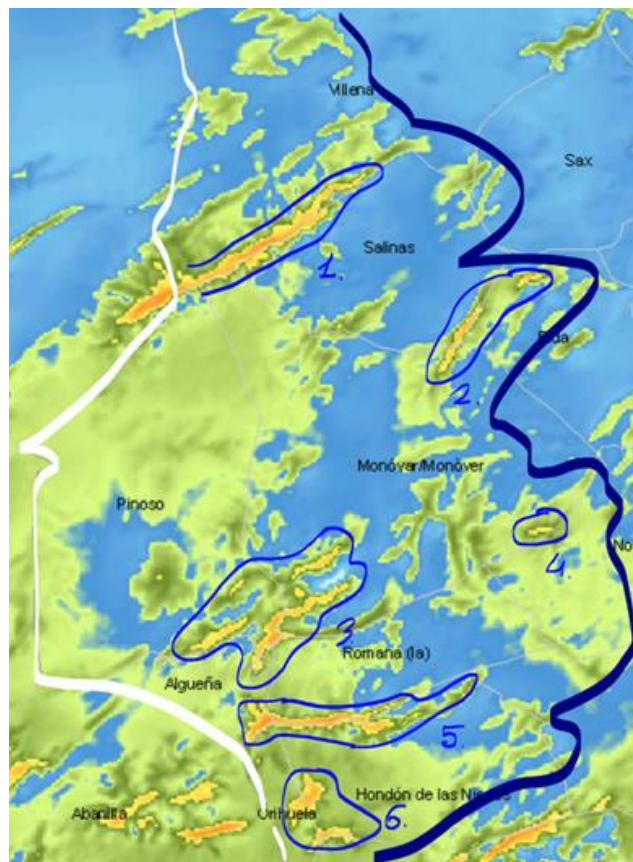


Ilustración 29. Alto y Medio Vinalopó, criterio energético

Zona (5) Interior de Alicante:

Territorios	Municipio
1. Castalla (grupo de emplaz.)	Castalla
2. Sierra del caballo	Petrer
3. Serra del Sit	Petrer
4. Rasos de Catí	Petrer
5. Serra del Maigmó	Castalla y Tibi
6. Penya de Migjorn	Jijona y Tibi
7. Cabeç de Corbó (g.e)	Ibi
8. Sierra de la Carrasqueta (g.e)	Jijona
9. Els Plans	Alcoi, Torremanzanas y Benifallin
10. L'Escobella	Tibi
11. Sierra del Ventós	Tibi

Tabla 6. Territorios del Interior de Alicante, criterio energético

Otra zona interesante. El interior de Alicante destaca 8 regiones útiles con velocidades moderadas, superiores a 6,5 m/s de velocidad de viento. Destacando entre ellas la Serra del Sit, con un tono rosáceo superior a las velocidades promedio de hasta 8,5 m/s.

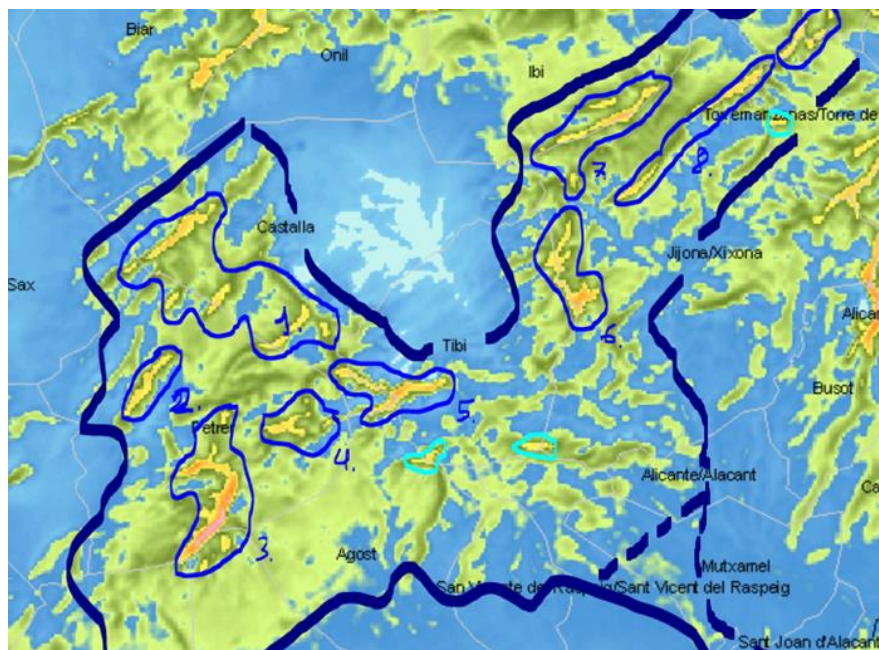


Ilustración 30. Interior de Alicante, criterio energético

Zona (6) Marina Baja y Alicanti:

Territorios	Municipio
1. Alt del cabeçó d'Or	Jijona, Busot, Alicante y Relleu
2. Serra de la Grana (g.e)	Torremanzanas y Relleu
3. Alt de la Penya de Sella	Sella
4. Sierra de Aitana	Confrides, Benifato, Benimantell
5. Ponoig y Puig campana (g.e)	Finestrat y Polop
6. Serra gelada	Benidorm y Alfàs del Pí

Tabla 7. Territorios de Marina Baja y Alicanti, criterio energético

La sierra d'Aitana ofrece las mismas características que la sierra del Sit, y posee una gran franja de terreno considerable. También cuenta con otros territorios que, aunque no sean de tan gran tamaño, sí ofrecen una velocidad de viento superior a la media de la provincia como Ponoig y Puig campana o Alt del cabeçó d'Or.

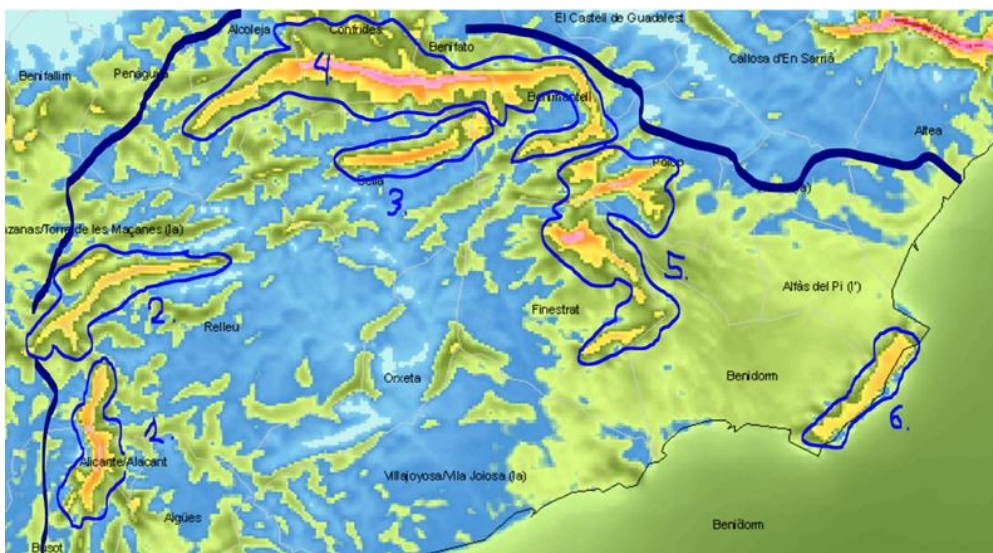


Ilustración 31. Marina baja y Alicanti, criterio energético

Zona (7) Alcoi y Alto Vinalopó:

Territorios	Municipio
1. Serra d'Onil o de Biar (g.e)	Biar y Onil
2. Alt de Biscoi	Alcoi, Onil y Ibi
3. El carrascal de la Font Roja	Alcoi y Ibi
4. Mont Cabrer	Cocentaina

Tabla 8. Territorios de Alcoi, criterio energético

La Serra d'Onil y El carrascal de la Font Roja contienen un recurso eólico aceptable, aunque nada extraordinario en comparación a otras zonas de la provincia.

Además es sabido que la Font Roja ocupará un espacio natural protegido y cubrirá a priori una gran área del territorio, que veremos más adelante.

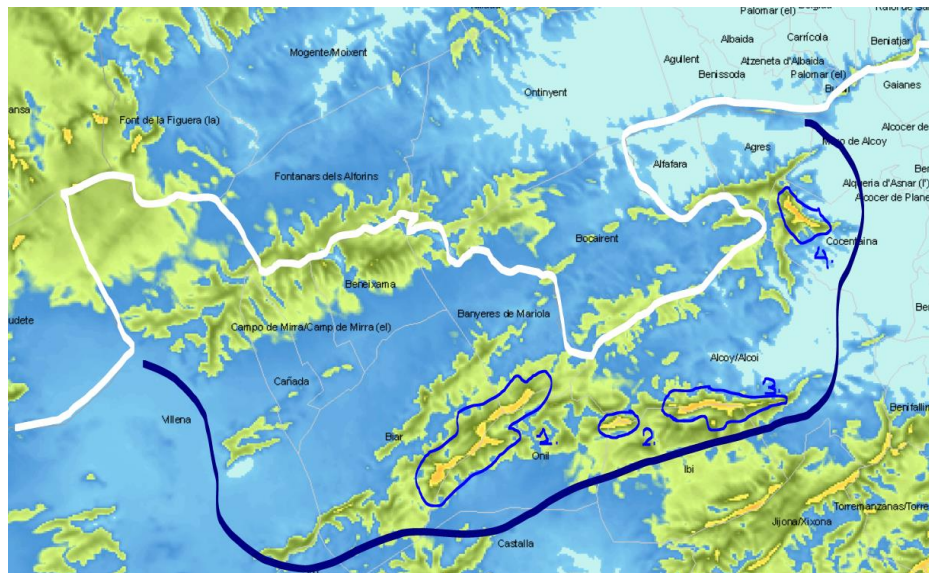


Ilustración 32. Alcoi, criterio energético

Zona (8) Marina Alta:

Territorios	Municipio
1. Serra d'Alfaro	Tollos, Facheca
2. Serrella la Mallada del Llop (g.e)	Quatretondeta, Facheca, Famorca... etc
3. Serra de Laguar	Vall de Laguar
4. Serra del Carrascal de Parcent y Serra del Ferrer (g.e)	Tárbena, Parcent, Alcalalí, Xaló, Binigembla
5. Les Planisses (g.e)	Xaló, Llíber, Benissa

6. S. de Bèrnia y S. de Toix (g.e)	Xaló, Altea, Benissa, Calpe
7. Serra del Castellet de la Solana	Xaló, Alcalalí y Pedreguer
8. Els Serrillars (g.e)	Llíber, Senija, Gata de Gorgos, Benissa, Dénia, Jávea
9. La costa (g.e)	Benissa
10. Tossals dels Molins	Teulada y Benitachell
11. Coma dels Flares y La Terra de Cresol	Teulada y Benissa
12. Parque Natural del Penyal d'Ifac	Calpe
13. Serra del Montgó	Dénia y Jávea
14. Les capçades	Jávea
15. S. de Benitatxell y Cap d'Or (g.e)	Benitachell, Teulada y Jávea

Tabla 9. Territorios de la Marina Alta, criterio energético

La Marina Alta es la comarca con mayor recurso eólico de la provincia. Se observa la evidencia que supone el norte de Alicante al ser montañoso, y su relación con el recurso eólico del que dispone.

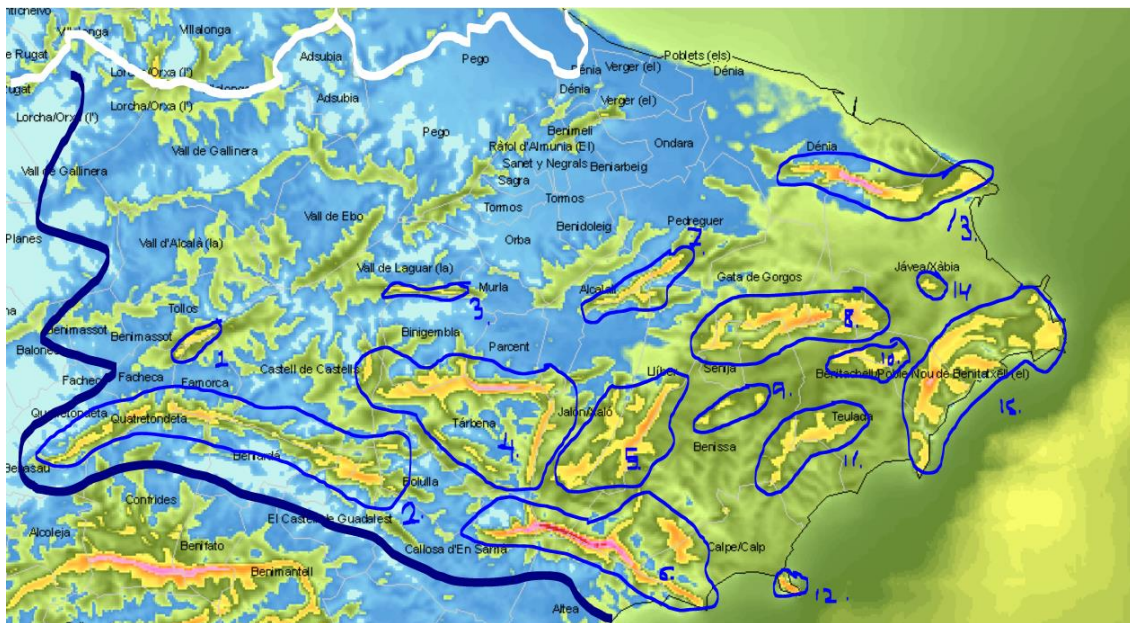


Ilustración 33. Marina Alta, criterio energético

5.3 Descarte de emplazamientos que incumplen el criterio ambiental

Alicante dispone de un amplio territorio ocupado por Lugares de Interés Comunitario, IBAs, Zonas de Especial Protección para las Aves y Espacios Naturales Protegidos.

A priori, se confirma que las zonas: (1) Sierra de Orihuela y la Sierra de Callosa, (3) Sierra de Crevillent, (6) Marina Baja y Alicanti y (7) Alcoi y Alto Vinalopó, incumplen el criterio ambiental en la totalidad del área.

Se procede a mostrar los Espacios Protegidos de las citadas zonas descartadas, además de los emplazamientos que deben ser retirados en la Provincia (color verde).

Zona (1) Vega Baja del Segura y Zona (3) Sierra de Crevillent:

La Sierra de Orihuela y la Sierra de Callosa forman parte de las Sierras del Sur de Alicante, al igual que la Sierra de Crevillent (Espacios Red Natura 2000) y son considerados ZEPA y LIC.

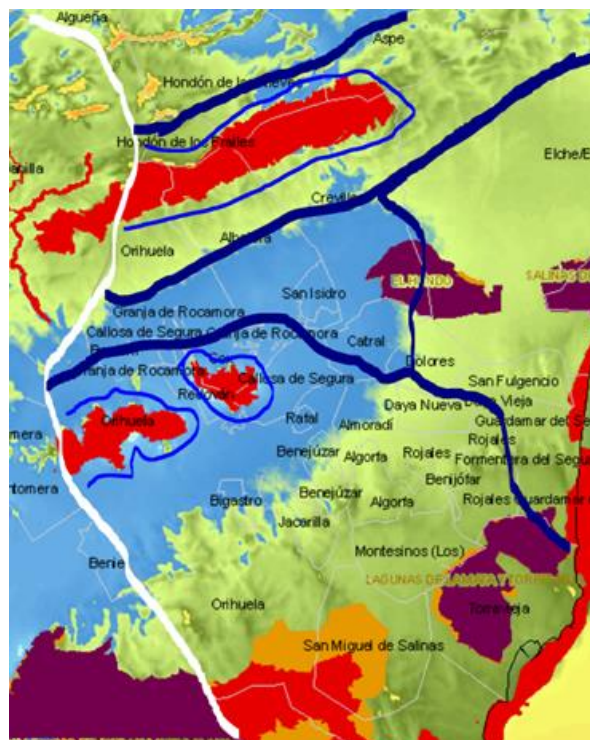


Ilustración 34. Vega Baja del Segura, criterio ambiental

Zona (4) Medio y Alto Vinalopó:

La Sierra de Salinas según (Espacios Red Natura 2000) es ZEPA y LIC.

Por otro lado, existe una reserva según (Espacios Naturales Protegidos) que limita el área efectiva de la Sierra de l'Algaita.

Con todo esto, el emplazamiento 1. "Sierra de Salinas" de la Zona (4) queda retirado, y se limitará el espacio útil del emplazamiento 5. "Sierra de l'Algaita".



Ilustración 35. Medio y Alto Vinalopó, criterio ambiental

Síntesis: Medio Vinalopó alberga 4 emplazamientos y de Alto Vinalopó únicamente la Sierra del caballo (Emplazamiento número 2).

Zona (5) Interior de Alicante:

Aunque no se aprecie en el aplicativo IDAE la “Sierra del Sit” pertenece al Maigmó y las Sierras de la Foia de Castalla, las cuales, según *Espacios Red Natura 2000* sí son ZEPA y LIC.

Además, la “Sierra del Sit” y la “sierra del Maigot” son considerados también *Espacios Naturales Protegidos*. Del mismo modo, según indica *Espacios Naturales Protegidos*, La Sierra de la Peña Roja es un paraje.

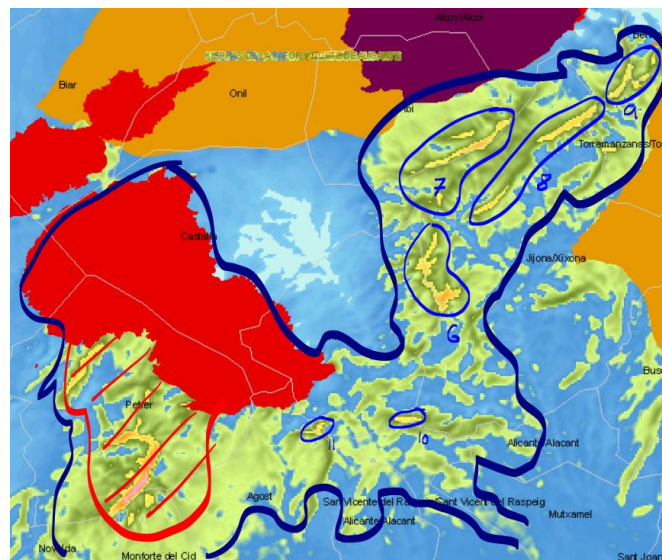


Ilustración 36. Interior de Alicante, criterio ambiental

Con todo esto, los emplazamientos: 1. “Castalla”, 2. “Sierra del caballo”, 3. “Serra del Sit”, 4. “Rasos de Catí”, 5. “Serra del Maigmó” quedan retirados.

Síntesis: Finalmente, el interior de Alicante conserva 4 emplazamientos, de los cuales uno (emplazamiento número 6) Peña del Migjorn estará limitado por un Espacio Natural Protegido.

Zona (9) Marina Alta:

La Sierra del Montgó es un Parque Natural por lo que las Sierras del Montgó quedan descartadas.

También existe un paraje, els Arcs, que limita la extensión de la Serrella la Mallada del Llop (Emplazamiento número 2).

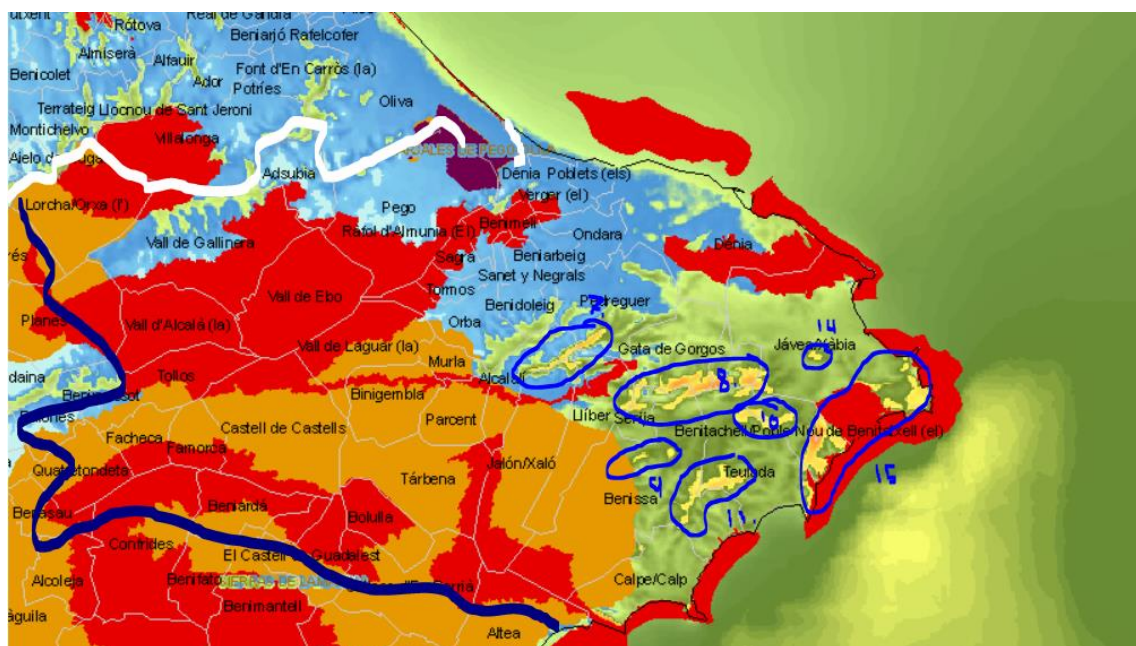


Ilustración 39. Marina Alta, criterio ambiental

Síntesis: Considerando la Red Natura, la Marina Alta se limita a 7 emplazamientos de los cuales 2 de ellos se verán limitados por la presencia cercana de los Espacios Naturales.

En resumen:

En Alicante existen 3 zonas disponibles susceptibles de estudiar su capacidad energética más en detalle.

Estas Zonas son: (9) Marina Alta, (5) el Interior de Alicante y (4) el Medio Vinalopó.

Conservando 7, 4 y 5 emplazamientos viables respectivamente desde el punto de vista energético y medioambiental.

5.4 Estudio detallado de los emplazamientos y criterio de ubicación

Hasta ahora se posee 3 zonas que cumplen los criterios energético y ambiental. Ahora se procederá al estudio en detalle de cada emplazamiento, evaluando las características de la ubicación y los aspectos logísticos.

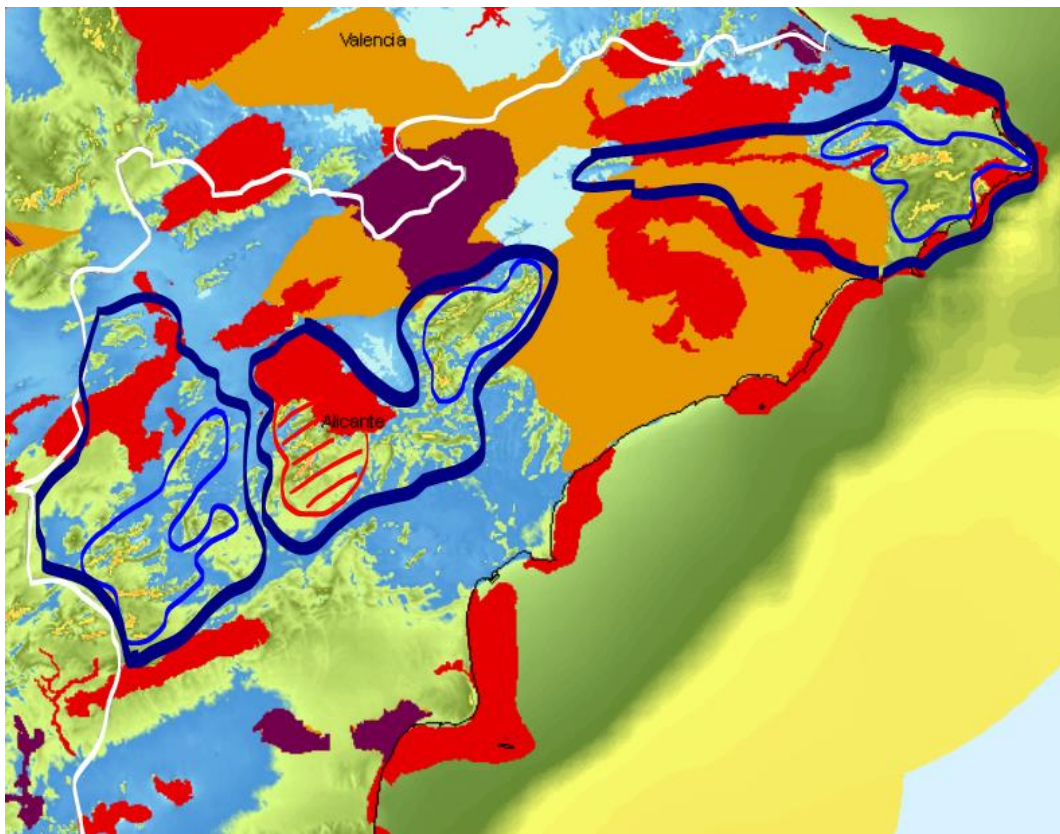


Ilustración 40. Territorios viables en Azul, sobre las 3 Zonas analizadas

Parques eólicos existentes

En la provincia de Alicante no existe ningún parque eólico previamente construido, por lo que disponemos de total libertad a la hora de estudiar todos los emplazamientos que ya hayan resultado aptos para el análisis.



Capacidad mínima de potencia del parque eólico

Bien es cierto que, en el resto de las provincias de la Comunidad Valenciana (en las que sí existen instalaciones) se da el caso de no poseer ningún parque eólico con una potencia inferior a 15 megavatios. Todos los existentes son superiores a esta cifra, por lo que vamos a imponer el requisito de no realizar una inversión para potencias menores a los mínimos.

Para no generar la sensación de construcciones poco eficientes, pobres o innecesarias resultaría interesante garantizar que cada parque eólico viable pudiera disponer una instalación de aerogeneradores con una potencia superior equivalente a los 20 megavatios, en cualquier caso.

Si el parque eólico se aproximara a los 20 megavatios sin alcanzarlos, pudiéramos aceptarlo excepcionalmente, si las condiciones no resultaran favorables en el estudio.

Proximidad de los emplazamientos a la Línea Eléctrica

Por otro lado, la situación de la red eléctrica en cada una de las zonas viables es la siguiente:

Zona de Medio y Alto Vinalopó (Villena)



Ilustración 41. Red Eléctrica en Medio y Alto Vinalopó

Los emplazamientos más alejados a la línea eléctrica de 400 kV no están a más de 2 kilómetros de distancia. Todos los emplazamientos están situados relativamente cerca de la red, por lo que es aceptable esta condición en toda la zona de Medio Vinalopó y, para Alto Vinalopó la sierra de la Umbría y la sierra de Camara.

Zona del Interior de Alicante

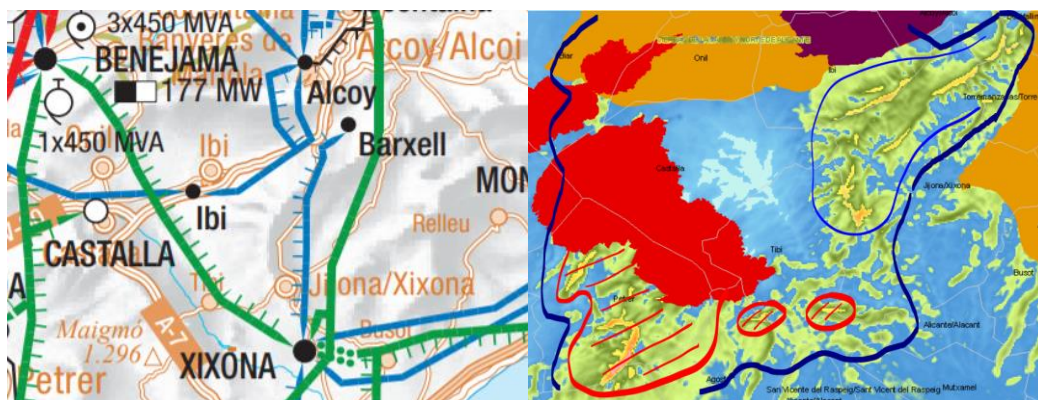


Ilustración 42. Red Eléctrica en el Interior de Alicante

Como se observa en la imagen, la Peña de Migjorn, Cabeç de Corbó, la Sierra de la Carrasqueta y Els Plans (los emplazamientos viables) serían territorios abastecidos por las líneas eléctricas verde (220 kV) y azules (150-220 kV).

Zona de la Marina Alta



Ilustración 43. Red eléctrica en Marina Alta

Los municipios de Pedreguer, Jávea, Teulada y Benissa sí disponen de una línea eléctrica de 150-220 kV, sin embargo, el emplazamiento de Benitachel queda a 11 Km de Benissa y el Cap d'Or se encuentra a 14 Km de la Gata de Gorgos (que son, para cada territorio, los municipios más próximos a la red) por este motivo, y debido a la proximidad del LIC de la costa, que limita también a 1km su área de eficiencia, descartamos el emplazamiento 15 "Sierra de Benitachel y el Cap d'Or" completamente.



Margen de seguridad ambiental y longitud disponible para la distribución de las turbinas

Para el desarrollo de este apartado tendremos en cuenta una silueta de 1km sobre los espacios naturales. Las áreas de los emplazamientos viables que queden libre de estos márgenes se hallará el valor de la longitud disponible que representará la línea de distribución de las turbinas.

Es obvio que la línea de distribución será lo más perpendicular posible a la dirección del viento predominante. Para ello simplemente haremos una comprobación con la rosa de vientos del territorio.

Deberemos tener en cuenta que cada emplazamiento aportará un mínimo de 20 MW en su longitud.

Para ello vamos a tomar de referencia un aerogenerador con un potencial unitario de 4,5 MW y un diámetro de palas promedio de 140 metros.

Para el cálculo de la capacidad energética del emplazamiento seguiremos este desarrollo:

$$\text{Distancia mínima entre aerogeneradores} = 2 * D = 280\text{m}$$

$$N^{\circ} \text{ de Aerogeneradores} = \frac{\text{Distancia total del emplazamiento}}{\text{Distancia mínima entre aerogeneradores}}$$

$$\text{Capacidad energética} = N^{\circ} \text{ de Aerogeneradores} * \text{Potencial unitario} \geq 20 \text{ MW}$$

Medio y Alto Vinalopó:

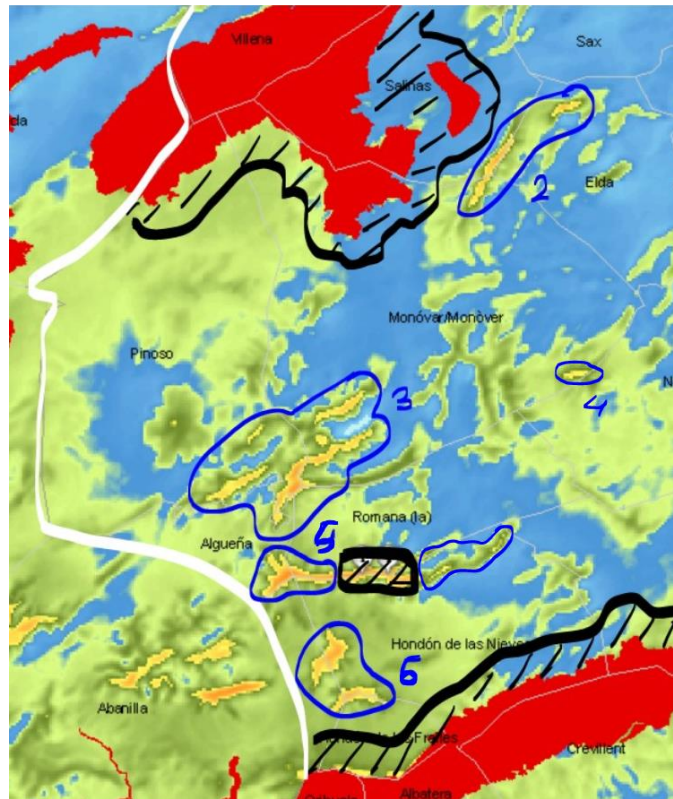
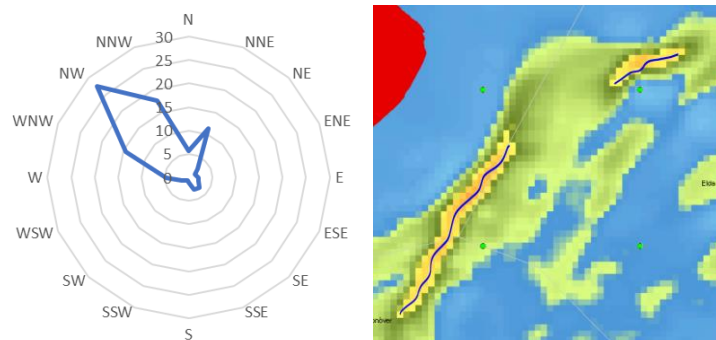


Ilustración 44. Medio y Alto Vinalopó, criterio de ubicación

En los 6 territorios se ha hallado un total de 26,5 km para la distribución, sin embargo, deberemos demostrar en cada emplazamiento una capacidad superior a 20 MW para considerarlos completamente:

Territorio (n.2) Sierra de la Umbría y Sierra de Camara:



El viento favorece la línea de distribución de los emplazamientos.

Emplazamiento uno: **La Sierra de la Umbría** ofrece **3,4 km**.

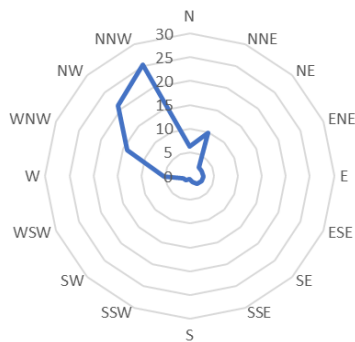
3400 metros permite instalar 12 Aerogeneradores y con ello 54 MW de potencia.

Emplazamiento dos: **La Sierra de Camara** ofrece **1,3 km**.

1300 metros permite instalar 5 Aerogeneradores y con ello 22,5 MW de potencia

TOTAL: 4,7 km

Territorio (n.3) Pinosos y Monóvar:



El viento favorece la línea de distribución de todos los emplazamientos salvo el cinco.

E.1: 0,9 km permite instalar 3 aerogeneradores y con ello 13,5 MW; insuficiente.

Emplazamiento dos: 2,9 km permite instalar 10 turbinas y con ello 45 MW; aceptado.

Emplazamiento tres: 2 km permite 7 turbinas y con ello 31,5 MW; aceptado.

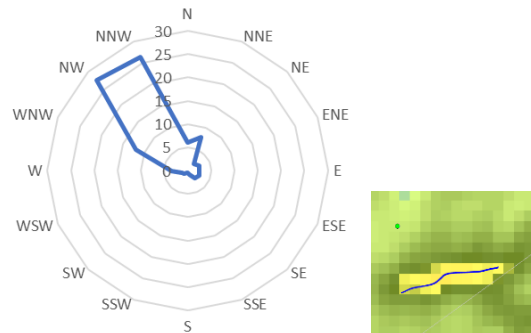
Emplazamiento cuatro: 4 km permite 14 turbinas y con ello 63 MW; aceptado.

Emplazamiento cinco: 0,26 km; insuficiente.

Emplazamiento seis: 2,5 km permite 9 turbinas y con ello 40,5 MW; aceptado.

TOTAL: 11,4 km

Territorio (n.4) Alt de Pina



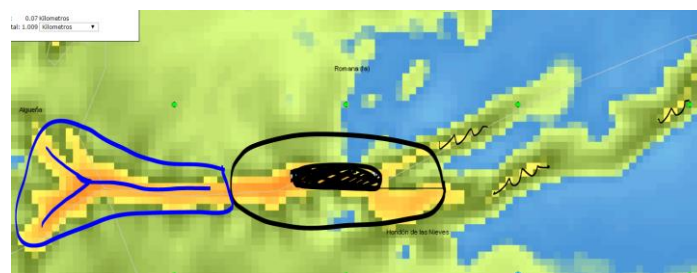
El viento puede favorecer la línea de distribución si resulta lo suficientemente grande para albergar más de 4 aerogeneradores.

Emplazamiento único: Alt de Pina ofrece 1,1 km (TOTAL) y permite instalar 4 aerogeneradores; 18 MW; insuficiente.

TOTAL: 0 km

Territorio (n.5) Sierra de l'Algaita

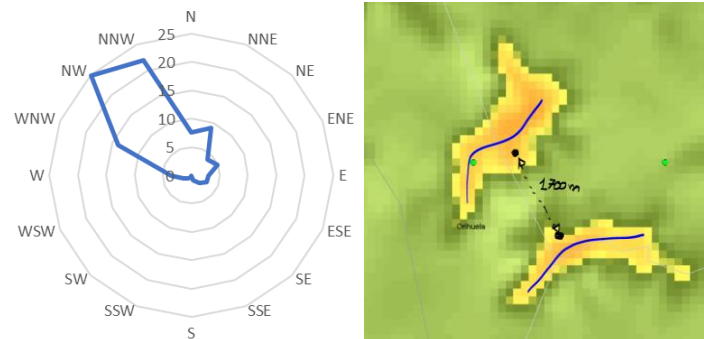
La rosa de vientos de Potencia es similar al resto de emplazamientos analizados, por lo que la distribución lineal de instalación queda así:



Sierra de l'Algaita: 4,3 km permite 15 turbinas y con ello 67,5 MW; aceptado.

TOTAL: 4,3 km

Emplazamiento (n.6) Serra dels Flares y Serra de Cofer



Sierra dels Flares: 2 km que permite 7 turbinas; 31,5 MW; aceptado.

Sierra de Cofer: 2,1 km que permite 7 turbinas; 31,5 MW; aceptado.

Separación entre ambas sierras: 1,7 km > 5D = 700 metros; aceptado.

TOTAL: 4,1 km

Existe una separación suficiente entre la Sierra dels Flares y la Sierra de Cofer para la distribución de aerogeneradores que se ha determinado. (>5D)

Síntesis: De los 26,5 Km de emplazamientos disponibles, nos quedará finalmente: **24,5 km** en la Zona de Medio y Alto Vinalopó.

Interior de Alicante

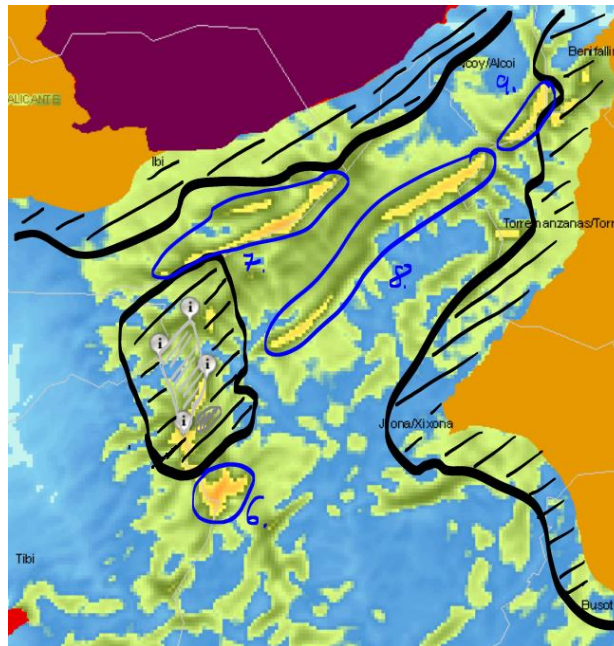
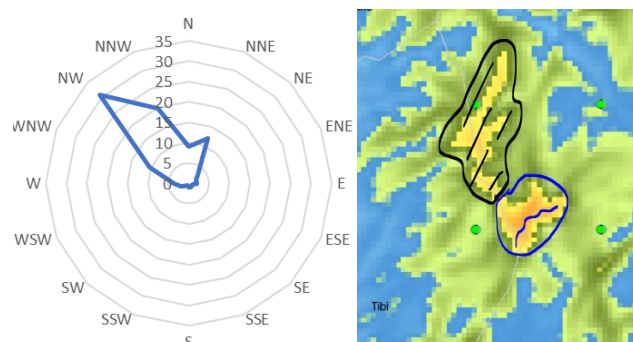


Ilustración 45. Interior de Alicante, criterio de ubicación

En el interior de Alicante disponemos de 6 territorios con un total de 17,6 km para la distribución. Debemos comprobar si los emplazamientos son capaces de cumplir los mínimos en potencia:

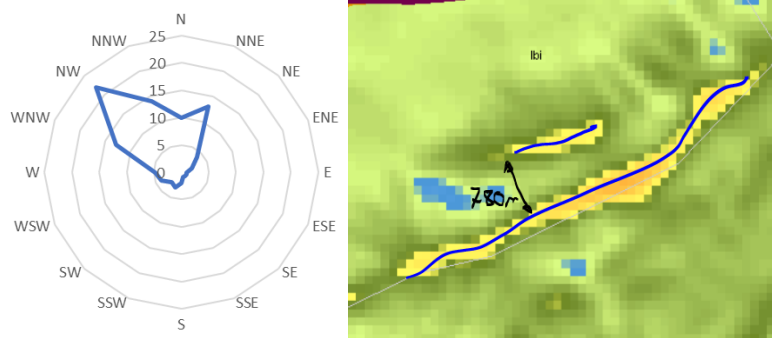
Territorio (n.6) Peña de Migjorn



Peña de Migjorn ofrece **1,5 km**, que permite instalar 5 turbinas; 22,5 MW; aceptado.

TOTAL: 1,5 km

Territorio (n.7) Cabeç de Corbó



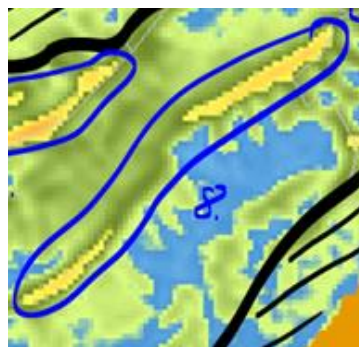
Emplazamiento uno: **1,3 km**; 5 turbinas; 22,5 MW; aceptado.

Emplazamiento dos: **5,2 km**; 19 turbinas; 85,5 MW; aceptado.

Separación entre emplazamientos = 780 metros \geq 5D = 700 metros; aceptado.

TOTAL: 6,5 km

Territorio (n.8) Sierra de la Carrasqueta



E.1: **2,2 km**; 8 turbinas; 36 MW; aceptado.

Emplazamiento dos: **3,3 km**; 12 turbinas; 54 MW; aceptado.

TOTAL: 5,5 km

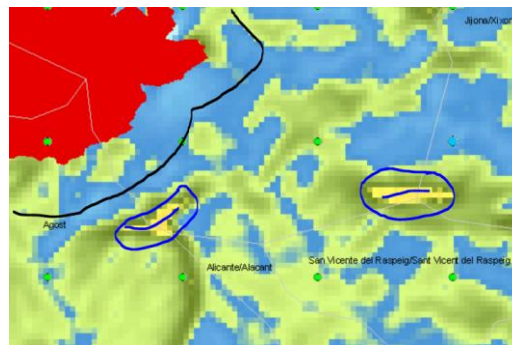
Emplazamiento (n.9) Els Plans



Els Plans ofrece **2 km** que permite instalar 7 aerogeneradores; 31,5 MW; aceptado.

TOTAL: 2 km

Emplazamiento (n.10) L'Escobella y Emplazamiento (n.11) Sierra del Ventós



Sierra del Ventós: 1,1 km; 4 turbinas; 18 MW; insuficiente

L'Escobella: 1 km; 4 turbinas; 18 MW; insuficiente

TOTAL: 0 km

Síntesis: De los 17,6 Km de emplazamientos disponibles, nos quedará finalmente: **15,5 km** del Interior de Alicante.

Marina Alta

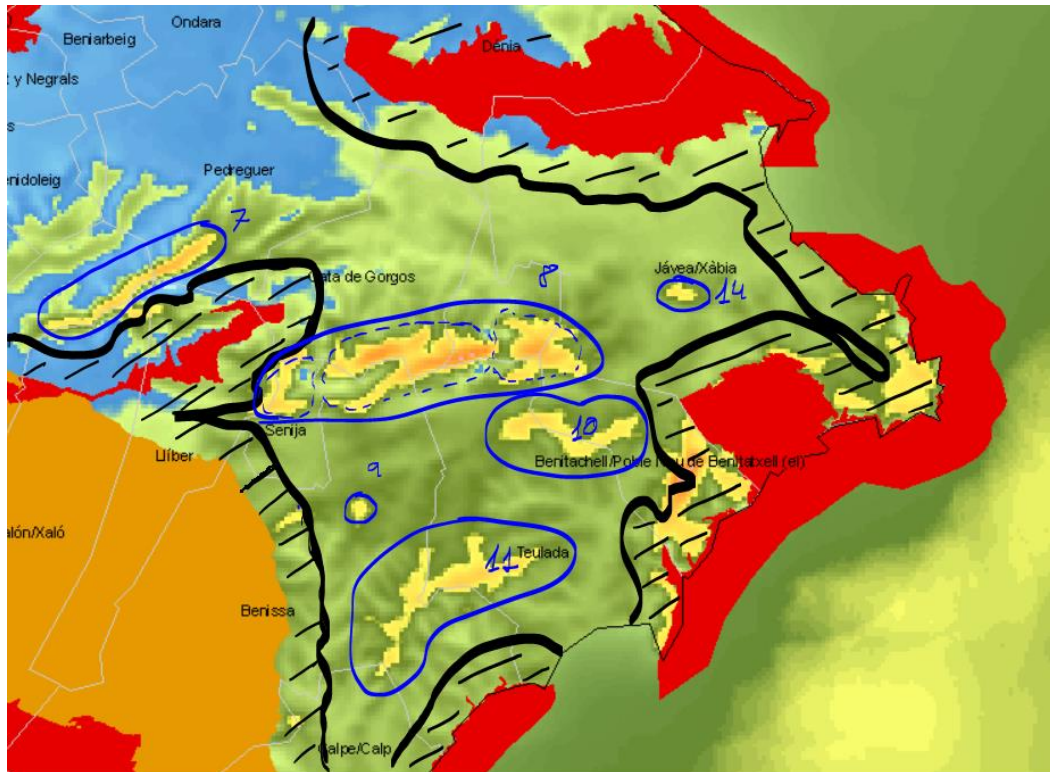
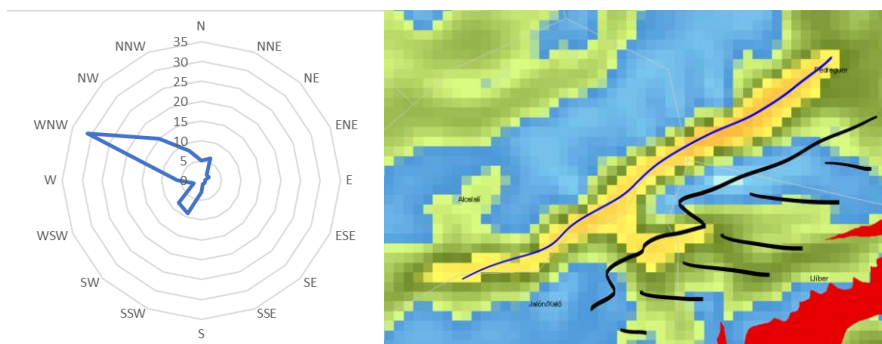


Ilustración 46. Marina Alta, criterio de ubicación

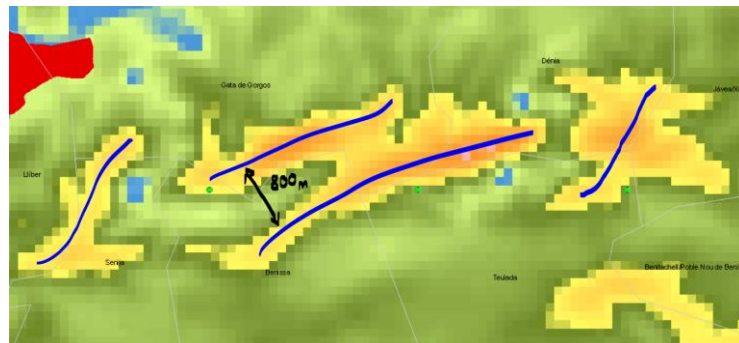
Territorio (n.7) Serra del Castellet de la Solana



Serra del Castellet de la Solana ofrece 5 km; 18 turbinas; 81 MW; aceptado.

TOTAL: 5 km

Territorio (n.8) Els Serrillars (3 emplazamientos)



Emplazamiento 1 ofrece **2 km**; 7 aerogeneradores; 31,5 MW; aceptado.

Emplazamiento 2 ofrece **6,5 km** (2,5 y 4 km respectivamente), separados una distancia superior a 700 metros. Lo cual es aceptado. 23 turbinas; 103,5MW.

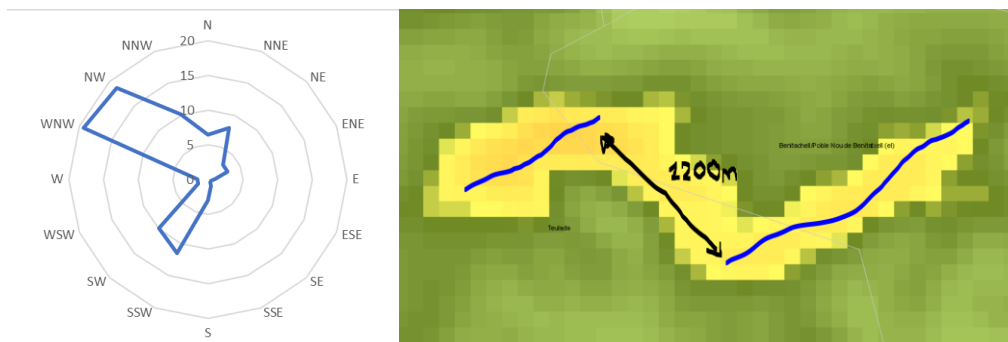
Emplazamiento 3 ofrece **1,7 km**; 6 turbinas; 27 MW; aceptado.

TOTAL: 10,2 km

Territorio (n.9) La costa

El emplazamiento 9 apenas abarca 700 metros. Es insuficiente.

Territorio (n.10) Tossals dels Molins

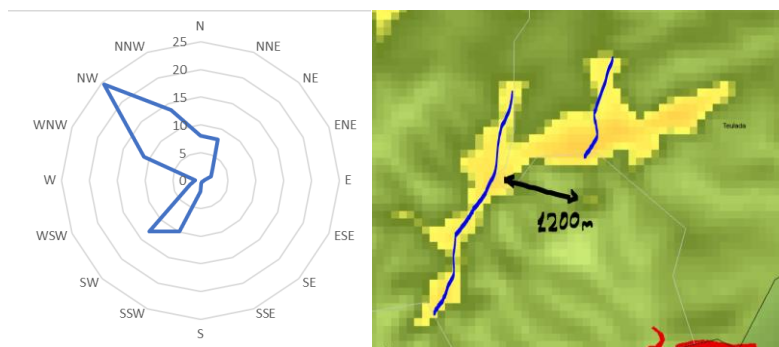




Tossals dels Molins ofrece: **3,2 km** (1,4 y 1,8 kms respectivamente) a una separación superior a 700 metros entre ambas líneas de distribución paralelas; 11 turbinas; 49,5 MW; aceptado.

TOTAL: 3,2 km

Territorio (n.11) Coma dels Flares y La Terra de Cresol



Coma dels Flares y La Terra de Cresol ofrecen **4,6 km** (3,2 y 1,4 kms respectivamente), separadas las líneas de distribución paralelas a una distancia superior a 700 metros; 16 turbinas; 72 MW; aceptado.

TOTAL: 4,6 km

Territorio (n.14) Les Capçades

El emplazamiento 14, Les Cpaçades, apenas abarca 400 metros; insuficiente.

Síntesis: 23 km lineales para emplazamientos la zona de la Marina Alta.

6. Análisis de aerogeneradores

Para la realización del análisis hemos tomado 4 modelos de aerogenerador de capacidad intermedia y con distintas propiedades que serán objeto de estudio en este apartado. Con ellos nos aseguraremos de responder a la cuestión de cuál de ellos resulta de una mayor producción de energía, mayor rendimiento y mejor rentabilidad económica en los emplazamientos viables de la provincia. Los modelos son:

ENERCON E-141 EP4

ENERCON E-141 EP4

Overview of technical details

Rated power	4.200 kW
Rotor diameter	141 m
Hub height in meter	99 / 129 / 135 / 159
Wind class (IEC)	IEC/EN IIA
WEC concept	Gearless, variable speed, single blade adjustment




Ilustración 47. Enercon E-141 EP4

ENERCON E-138 EP3

ENERCON E-138 EP3 / 3,5 MW

Overview of technical details

Rated power	3.500 kW
Rotor diameter	138,6 m
Hub height in meter	81 / 111 / 131 / 160
Wind class (IEC)	IEC/EN IIIA
WEC concept	Gearless, variable speed, single blade adjustment




Ilustración 48. Enercon E-138 EP3



SIEMENS GAMESA SG 4.5-145

Datos técnicos	
Potencia nominal	4,5 MW
Diámetro del rotor	145 m
Altura de la torre	107,5; 127,5; 157,5 m
Clase de viento	IEC IIB
Propiedades extra	Potencia flexibles 4,2-4,8 MW

Tabla 10. Datos técnicos SG 4.5 -145

SIEMENS GAMESA SG 3.4-132

Datos técnicos	
Potencia nominal	3,4 MW
Diámetro del rotor	132 m
Altura de la torre	101,5; 114; 134; 154 m
Clase de viento	IEC IA/IIA
Propiedades extra	Aumentable Pot.Nominal a 3,75 MW

Tabla 11. Datos técnicos SG 3.4 -132

La altura de buje de los aerogeneradores tiene que definirse, ya que es un factor determinante en la lectura del viento y condiciona al factor corrector del cálculo de las producciones.

Para una mayor precisión en el desarrollo del apartado, tomaremos alturas de buje similares:

Para ENERCON EP4: 135 metros; EP3: 131 metros.

Para SIEMENS GAMESA SG 4.5: 127,5 metros; SG 3.4: 134 metros.

6.1 Análisis de productividad y rendimiento

Análisis del Régimen de Vientos

Como ya se observó en el apartado de emplazamientos, el viento en los territorios viables se comporta de un modo muy regular.

Estos territorios poseen parámetros de factor de escala C, de factor de forma K, valores de rugosidad (en metros), porcentajes de pérdidas y valores de vientos estrechamente similares.

La distribución de vientos se apoyará en la información recabada en los emplazamientos y, debido precisamente a esta semejanza, se sugiere seleccionar uno de ellos que resulte fácil de acotar para el análisis, este es:

Serra del Castillet de la Solana, en la Marina Alta.

Información Valores estacionales a 80 m	
Coordenadas UTM del Emplazamiento	761645.43
Elevación promedio del Emplazamiento	475 m
Rugosidad	0.1
Weibull C promedio (Factor de escala)	7.88 m/s
Weibull K promedio (Factor de forma)	2.004
Pérdidas	15%

Tabla 12. Información del emplazamiento Serra del Castillet de la Solana

La velocidad media anual, que es la velocidad de referencia del emplazamiento a 80 metros de altura, es el resultado del promedio de las velocidades en cada estación del año: 7,065 m/s.

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Velocidad (m/s)	7.12	5.79	7.54	7.81
Weibull C (m/s)	7.97	6.41	8.47	8.74
Weibull K	1.956	2.158	2.17	1.996

Tabla 13. Velocidades de viento media en cada estación del año



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



Teniendo en cuenta la altura de cada buje de los cuatro aerogeneradores, buscamos el factor corrector que se aplicará al parámetro K (factor de forma) para hallar la Distribución estadística del Viento, esto es: la Probabilidad acumulada del viento, la Densidad y las Horas del año equivalentes a cada valor de velocidad.

Modelos	H del buje	Velocidad en buje	Valor Corrector de forma	K Weibull*	C Weibull
E-141 EP4	135 m	7.618 m/s	1.0782	2.1607128	7.88 m/s
E-138 EP3	131 m	7.586 m/s	1.0737	2.1516948	7.88 m/s
SG 4.5-145	127.5 m	7.558 m/s	1.0697	2.1436788	7.88 m/s
SG 3.4-132	134 m	7.61 m/s	1.0771	2.1585084	7.88 m/s
		$V = V_{ref} \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_{ref}/z_0)}$	$\frac{V}{V_{ref}}$		

Tabla 14. Propiedades del emplazamiento según las alturas de cada modelo de aerogenerador

Ahora podemos definir la distribución de vientos para cada Aerogenerador.

Dado que las alturas son similares, es de esperar que el aspecto del viento no sea muy distinto, sin embargo, como estos datos van a formar parte del análisis de producción, interesa tenerlos lo más exactos posibles.

	Velocidad en buje	7.618	
E-141 EP4	Parámetro Weibull K	2.1607128	
	Parámetro Weibull C	7.88	
<hr/>			
Velocidades	Prob. Acum.	Densidad	Horas al año
0	0	0	0
0.5	0.00258145	0.00258145	22.6135064
1	0.01149098	0.00890953	78.0474767
1.5	0.02737373	0.01588275	139.132849
2	0.05036517	0.02299145	201.405086
2.5	0.08028808	0.0299229	262.124633
3	0.11671216	0.03642409	319.075009
3.5	0.15899412	0.04228195	370.389918
4	0.20631588	0.04732176	414.538623
4.5	0.2577255	0.05140963	450.348322
5	0.31218081	0.0544553	477.028455
5.5	0.36859443	0.05641362	494.183328
6	0.42587837	0.05728395	501.807359



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



6.5	0.48298584	0.05710747	500.261405
7	0.53894831	0.05596247	490.231254
7.5	0.59290622	0.05395791	472.671279
8	0.64413196	0.05122574	448.737486
8.5	0.69204463	0.04791266	419.714932
9	0.73621638	0.04417176	386.944604
9.5	0.77637102	0.04015463	351.754576
10	0.81237552	0.03600451	315.399475
10.5	0.84422613	0.03185061	279.011306
11	0.87203018	0.02780405	243.563473
11.5	0.8959855	0.02395532	209.848632
12	0.91635878	0.02037328	178.469891
12.5	0.93346425	0.01710547	149.843936
13	0.94764393	0.01417968	124.213991
13.5	0.95925011	0.01160618	101.670122
14	0.96863073	0.00938062	82.1742599
14.5	0.97611788	0.00748715	65.587457
15	0.98201939	0.0059015	51.6971692
15.5	0.98661331	0.00459393	40.2428157
16	0.99014509	0.00353177	30.9383374
16.5	0.99282671	0.00268162	23.4909827
17	0.99483766	0.00201096	17.6159949
17.5	0.99632708	0.00148941	13.0472512
18	0.9974166	0.00108952	9.54418829
18.5	0.99820376	0.00078716	6.8955322
19	0.99876545	0.0005617	4.9204488
19.5	0.99916131	0.00039586	3.46775091
20	0.99943686	0.00027554	2.41376167
20.5	0.99962628	0.00018942	1.65935895
21	0.99975489	0.00012861	1.12662945
21.5	0.99984113	8.624E-05	0.75545968
22	0.99989824	5.7111E-05	0.50029359
22.5	0.9999356	3.7352E-05	0.32720166
23	0.99995972	2.4125E-05	0.21133721
23.5	0.99997511	1.5388E-05	0.1348028
24	0.9999848	9.6933E-06	0.08491345
24.5	0.99999083	6.0297E-06	0.05282028
25	0.99999454	3.7039E-06	0.03244614

Tabla 15. Régimen de Vientos Weibull para el Modelo EP4

	Velocidad en buje	7.586
E-138 EP3	Parámetro Weibull K	2.1516948
	Parámetro Weibull C	7.88



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



Velocidades	Prob. Acum.	Densidad	Horas al año
0	0	0	0
0.5	0.00264636	0.00264636	23.1821304
1	0.01170563	0.00905927	79.3592064
1.5	0.02778052	0.01607489	140.816017
2	0.05097557	0.02319505	203.188655
2.5	0.08108879	0.03011322	263.791795
3	0.11767047	0.03658168	320.455529
3.5	0.16006314	0.04239267	371.359757
4	0.2074399	0.04737676	415.0204
4.5	0.25884519	0.05140529	450.310372
5	0.31323808	0.05439289	476.481698
5.5	0.36953669	0.05629861	493.175819
6	0.4266619	0.05712521	500.416863
6.5	0.48357817	0.05691627	498.586569
7	0.53932956	0.05575139	488.382145
7.5	0.59306929	0.05373973	470.760062
8	0.64408185	0.05101255	446.869981
8.5	0.69179688	0.04771503	417.983644
9	0.73579501	0.04399813	385.423653
9.5	0.77580605	0.04001104	350.496704
10	0.81170047	0.03589442	314.435131
10.5	0.84347554	0.03177507	278.349599
11	0.87123748	0.02776195	243.194639
11.5	0.89518127	0.02394379	209.747582
12	0.91556944	0.02038817	178.600361
12.5	0.93271131	0.01714187	150.162785
13	0.94694365	0.01423234	124.675265
13.5	0.95861358	0.01166993	102.228573
14	0.96806428	0.0094507	82.788136
14.5	0.97562369	0.00755941	66.2204713
15	0.98159626	0.00597256	52.319654
15.5	0.98625746	0.0046612	40.8321411
16	0.98985092	0.00359346	31.4787247
16.5	0.99258755	0.00273663	23.9728662
17	0.99464635	0.0020588	18.0350931
17.5	0.99617643	0.00153008	13.4034944
18	0.99729979	0.00112336	9.84062551
18.5	0.99811455	0.00081476	7.1373105
19	0.99869833	0.00058378	5.1139267
19.5	0.99911155	0.00041322	3.61977865
20	0.99940049	0.00028894	2.531137
20.5	0.99960008	0.00019959	1.74844908



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



21	0.99973629	0.0001362	1.19313828
21.5	0.9998281	9.1817E-05	0.80431292
22	0.99988925	6.1143E-05	0.53561309
22.5	0.99992947	4.0222E-05	0.35234166
23	0.99995561	2.6137E-05	0.22895906
23.5	0.99997238	1.6777E-05	0.14696929
24	0.99998302	1.0638E-05	0.09318881
24.5	0.99998968	6.6628E-06	0.05836634
25	0.99999381	4.122E-06	0.03610902

Tabla 16. Régimen de vientos Weibull para modelo EP3

	Velocidad en buje	7.586	
SG 4.5-145	Parámetro Weibull K	2.1436788	
	Parámetro Weibull C	7.88	
Velocidades	Prob. Acum.	Densidad	Horas al año
0	0	0	0
0.5	0.00270543	0.00270543	23.69955
1	0.01189978	0.00919435	80.542502
1.5	0.02814711	0.01624734	142.326664
2	0.05152419	0.02337707	204.783154
2.5	0.08180694	0.03028275	265.276882
3	0.11852845	0.03672152	321.680485
3.5	0.16101882	0.04249036	372.215589
4	0.20844346	0.04742464	415.439888
4.5	0.2598438	0.05140034	450.26695
5	0.31418015	0.05433635	475.986436
5.5	0.37037563	0.05619548	492.272436
6	0.42735908	0.05698345	499.175039
6.5	0.48410499	0.0567459	497.094103
7	0.53966852	0.05556354	486.7366
7.5	0.59321425	0.05354573	469.060583
8	0.6440373	0.05082305	445.20992
8.5	0.69157663	0.04753933	416.444504
9	0.73542032	0.04384369	384.070688
9.5	0.77530346	0.03988315	349.376354
10	0.81109961	0.03579615	313.574258
10.5	0.84280695	0.03170734	277.756339
11	0.87053076	0.02772381	242.860572
11.5	0.89446351	0.02393274	209.65083
12	0.9148641	0.02040059	178.709208
12.5	0.93203755	0.01717345	150.439426
13	0.94631602	0.01427846	125.079348



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



13.5	0.95804208	0.01172606	102.720278
14	0.9675547	0.00951263	83.330621
14.5	0.97517817	0.00762347	66.7816061
15	0.98121391	0.00603574	52.8730531
15.5	0.98593509	0.00472118	41.3575552
16	0.98958371	0.00364862	31.9619031
16.5	0.99236967	0.00278596	24.405024
17	0.99447151	0.00210184	18.4121187
17.5	0.9960383	0.00156678	13.7250258
18	0.99719231	0.00115401	10.1091014
18.5	0.99803215	0.00083985	7.35707893
19	0.99863609	0.00060393	5.29046487
19.5	0.9990652	0.00042912	3.75905482
20	0.99936647	0.00030127	2.63912309
20.5	0.99957547	0.00020899	1.83077765
21	0.99971872	0.00014325	1.25488662
21.5	0.99981574	9.702E-05	0.84989159
22	0.99988066	6.4924E-05	0.56873412
22.5	0.99992359	4.2927E-05	0.37604321
23	0.99995163	2.8044E-05	0.24566563
23.5	0.99996974	1.8102E-05	0.15857117
24	0.99998128	1.1544E-05	0.10112812
24.5	0.99998855	7.2741E-06	0.06372087
25	0.99999308	4.5284E-06	0.03966866

Tabla 17. Régimen de vientos para SG 4.5

	Velocidad en buje	7.61	
SG 3.4-132	Parámetro Weibull K	2.1585084	
	Parámetro Weibull C	7.88	
Velocidades	Prob. Acum.	Densidad	Horas al año
0	0	0	0
0.5	0.00259717	0.00259717	22.7512038
1	0.01154309	0.00894592	78.3662315
1.5	0.02747262	0.01592953	139.542701
2	0.05051372	0.0230411	201.840066
2.5	0.08048311	0.02996938	262.531807
3	0.11694574	0.03646264	319.4127
3.5	0.15925484	0.04230909	370.627669
4	0.20659015	0.04733531	414.657347
4.5	0.25799884	0.05140869	450.340107
5	0.312439	0.05444016	476.895819
5.5	0.36882461	0.05638561	493.937907



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



6	0.42606982	0.05724522	501.468101
6.5	0.4831306	0.05706078	499.85241
7	0.5390415	0.0559109	489.779458
7.5	0.59294608	0.05390458	472.204161
8	0.64411971	0.05117363	448.280991
8.5	0.69198407	0.04786436	419.291752
9	0.7361134	0.04412933	386.572928
9.5	0.77623296	0.04011956	351.447343
10	0.8122106	0.03597764	315.164152
10.5	0.8440428	0.0318322	278.850114
11	0.87183664	0.02779384	243.473997
11.5	0.89578923	0.02395259	209.824693
12	0.91616624	0.02037701	178.502566
12.5	0.93328069	0.01711445	149.92262
13	0.94747332	0.01419263	124.327396
13.5	0.95909514	0.01162182	101.807143
14	0.96849293	0.00939779	82.3246621
14.5	0.97599776	0.00750484	65.7423565
15	0.98191663	0.00591887	51.8493161
15.5	0.98652699	0.00461035	40.3866935
16	0.9900738	0.00354682	31.0701143
16.5	0.99276882	0.00269502	23.608352
17	0.99479142	0.0020226	17.7179438
17.5	0.99629071	0.00149929	13.1337958
18	0.99738844	0.00109773	9.61610374
18.5	0.99818229	0.00079385	6.9541015
19	0.99874932	0.00056704	4.96724523
19.5	0.99914938	0.00040005	3.50446193
20	0.99942815	0.00027877	2.44205639
20.5	0.99962002	0.00019187	1.68079646
21	0.99975046	0.00013043	1.14260297
21.5	0.99983803	8.7576E-05	0.76716952
22	0.99989611	5.8076E-05	0.50874183
22.5	0.99993414	3.8037E-05	0.33320191
23	0.99995875	2.4604E-05	0.21553349
23.5	0.99997447	1.5718E-05	0.1376931
24	0.99998438	9.9172E-06	0.08687449
24.5	0.99999056	6.1794E-06	0.05413114
25	0.99999437	3.8025E-06	0.03330956

Tabla 18. Régimen de Vientos Weibull para modelo SG 3.4

Para caracterizar el viento se usa la ley de densidad de probabilidad de Weibull. Con ella se consigue modelizar la distribución de la velocidad del viento.

Las horas al año equivalentes representa la ley de densidad en base a las 8760 horas del año.

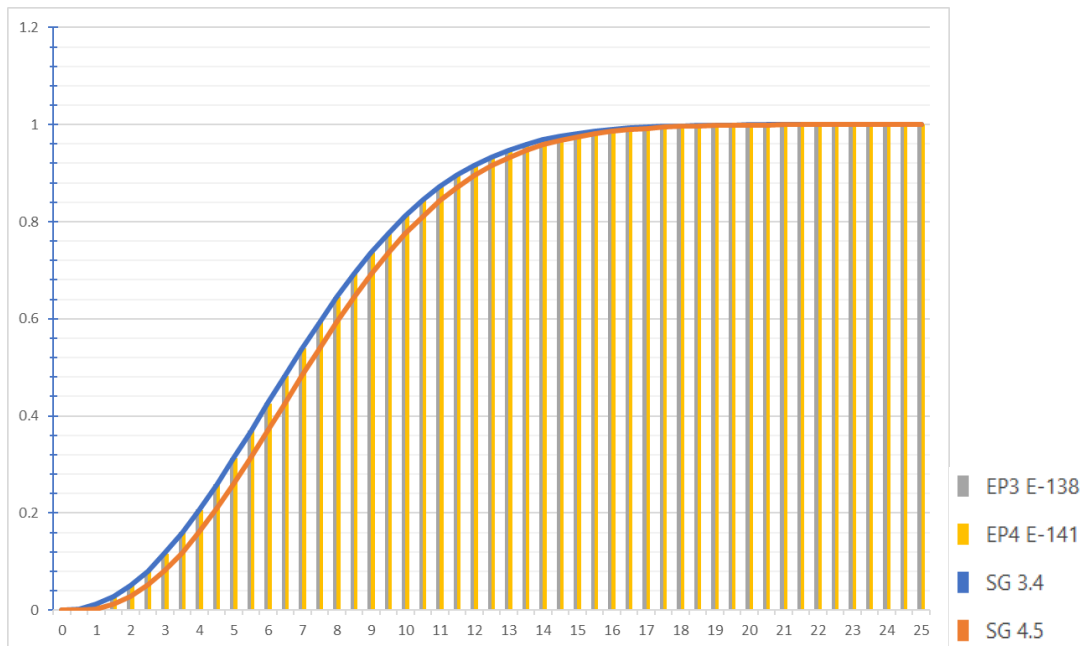


Ilustración 49. Probabilidad acumulada de la distribución de vientos a las alturas de los aerogeneradores

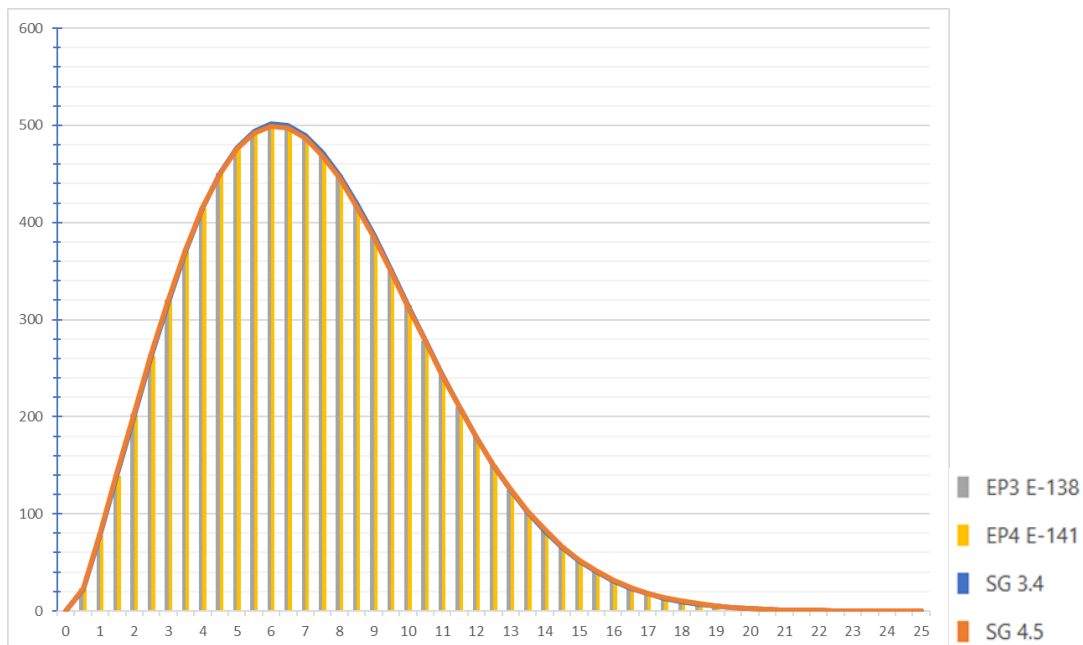


Ilustración 50. Densidad Weibull para cada altura de aerogeneradores.

La Probabilidad acumulada da el valor (en tanto por uno) de la ocurrencia en la que el viento sopla a una velocidad igual o menor a la velocidad referida. Por ejemplo, según



la gráfica, hay un 50% de probabilidades que el viento incidente tenga una velocidad igual o inferior a 7 m/s a la altura del aerogenerador SG 4.5.

La función de densidad, por otro lado, expresa la probabilidad de ocurrencia (en tantos por uno) que puede darse en el emplazamiento para que el viento incida a la velocidad referida.

La función de las horas equivalentes es una expresión alternativa a la función de densidad, y permite visualizar las velocidades más frecuentes en el emplazamiento y así estimar mejor su aprovechamiento.

Cálculo de producción

Es necesario, además de la Distribución Weibull de vientos, las curvas de Potencia de los aerogeneradores.

Las fichas técnicas encontradas en la web de los fabricantes nos dan información suficiente para elaborar las curvas de Potencia de los modelos:

	SG 3.4-132	SG 4.5-145	E-138 EP3	E-141 EP4
Velocidad m/s	Potencia kW	Potencia kW	Potencia kW	Potencia kW
0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0
1	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0
2	0	0	0	20
2.5	130	166.4	0	50
3	260	332.8	50	100
3.5	617.5	790.4	100	200
4	975	1248	200	300
4.5	1332.5	1705.6	340	425
5	1690	2163.2	480	550
5.5	2047.5	2620.8	665	700
6	2405	3078.4	850	850
6.5	2762.5	3536	1125	1125
7	3120	3993.6	1400	1400
7.5	3380	4326.4	1750	1750
8	3380	4326.4	2100	2100
8.5	3380	4326.4	2350	2450



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



9	3380	4326.4	2600	2800
9.5	3380	4326.4	2900	3100
10	3380	4326.4	3200	3400
10.5	3380	4326.4	3300	3650
11	3380	4326.4	3400	3900
11.5	3380	4326.4	3425	4000
12	3380	4326.4	3450	4100
12.5	3380	4326.4	3475	4125
13	3380	4326.4	3500	4150
13.5	3380	4326.4	3500	4175
14	3380	4326.4	3500	4200
14.5	3380	4326.4	3500	4200
15	3380	4326.4	3500	4200

Tabla 19. Curvas de potencia de los fabricantes

Para el cálculo de producción debemos disponer de las curvas de potencia corregidas.

Las curvas de potencia corregidas se obtienen de la tabla facilitada por el fabricante multiplicado por el siguiente factor corrector:

$$\text{Factor corrector de Potencia} = \frac{\rho}{\rho_0} = e^{-z/8435} - \frac{t - 15}{288}$$

La densidad de referencia es 1,225 kg/m³;

La temperatura es de 13,6 °C

Z es la cota del buje, variable para cada modelo de aerogenerador, resultado de sumar la cota del emplazamiento más la altura de la turbina.

Estos son los resultados finales:

Factor de corrección			
SG 3.4-132	SG 4.5-145	E-138 EP3	E-141 EP4
0.935	0.936	0.9355	0.935

Tabla 20. Factor corrector para las Curvas de potencia en función de la densidad de viento



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



Estos valores se multiplican a las curvas de potencia, dando como resultado las curvas de potencia corregidas.

Con las curvas de potencia corregidas podremos hallar la Producción de los aerogeneradores, que es el producto de la dicha curva corregida por las horas equivalentes de la distribución de vientos.

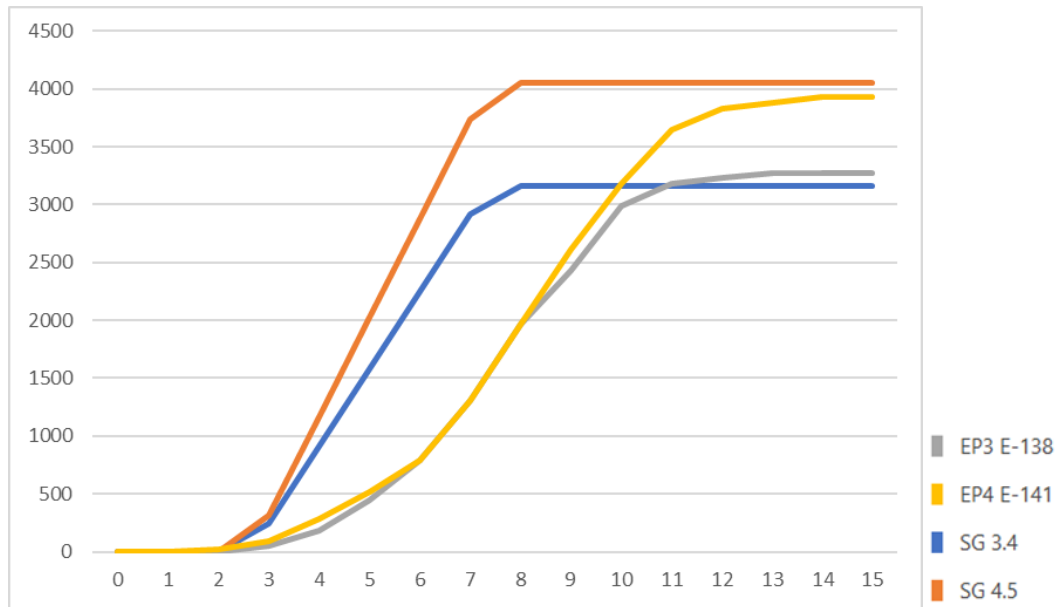


Ilustración 51. Curvas de Potencia corregidas en KW

PRODUCCIÓN (KW)				Velocidad m/s
SG 3.4-132	SG 4.5-145	E-138 EP3	E-141 EP4	
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0.5
0	0	0	0	1
0	0	0	0	1.5
0	0	0	3766.2751	2
31910.7411	41316.9805	0	12254.3266	2.5
77649.2275	100203.728	14989.3074	29833.5134	3
213986.518	275370.453	34740.7053	69262.9146	3.5
378012.004	485286.966	77650.3167	116278.084	4
561073.109	718824.89	143230.22	178957.164	4.5
753566.928	963756.012	213959.342	245311.883	5
945600.904	1207578.15	306808.376	323442.988	5.5
1127638.78	1438314.17	397918.979	398811.399	6
1291087.53	1645230.36	524731.202	526212.465	6.5



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



1428784.64	1819426.08	639634.096	641712.712	7
1492306.81	1899465.71	770693.067	773408.38	7.5
1416702.42	1802882.2	877898.421	881096.055	8
1325087.72	1686396.35	918905.693	961461.98	8.5
1221686.42	1555298.24	937465.952	1013020.97	9
1110679.04	1414803.18	950880.033	1019560.64	9.5
996013.27	1269822.22	941293.009	1002654.93	10
881250.017	1124777.18	859306.964	952195.834	10.5
769450.874	983466.411	773529.188	888154.204	11
663108.978	848983.217	672049.606	784833.884	11.5
564121.661	723684.794	576428.2	684164.328	12
473800.457	609206.019	488158.567	577929.331	12.5
392911.87	506510.121	408217.987	481981.339	13
321741.114	415966.835	334721.904	396882.029	13.5
260170.63	337448.217	271069.054	322698.319	14
207765.569	270432.808	216822.378	257561.944	14.5
163859.394	214109.978	171307.627	203014.784	15
127634.068	167477.85	133694.638	158033.537	15.5
98190.8823	129430.059	103069.214	121494.851	16
74609.4747	98828.3986	78493.1571	92249.0892	16.5
55994.0176	74560.0663	59051.4034	69178.0119	17
41506.7348	55579.6347	43886.3915	51236.5554	17.5
30389.7727	40936.9114	32220.6681	37480.0274	18
21977.047	29792.5676	23369.3389	27078.755	18.5
15697.9851	21423.7925	16744.2745	19322.6025	19
11075.151	15222.3316	11852.0602	13617.8578	19.5
7717.6308	10687.1564	8287.57532	9478.84207	20
5311.82106	7413.75315	5724.85941	6516.30258	20.5
3610.96817	5081.67643	3906.63301	4424.27384	21
2424.48583	3441.64481	2633.52159	2966.69018	21.5
1607.7768	2303.09475	1753.73115	1964.65292	22
1053.01799	1522.79089	1153.6547	1284.92091	22.5
681.150476	994.82551	749.669215	829.921205	23
435.151495	642.13562	481.214188	529.370578	23.5
274.549438	409.51936	305.123448	333.455137	24
171.070647	258.038322	191.105999	207.425228	24.5
105.268203	160.638646	118.229949	127.415976	25

Tabla 21. Tabla de Producción de los Aerogeneradores

$$Prod. = \sum(P * h)$$

Donde P es la potencia corregida y h el número de horas que el viento sopla a una velocidad determinada.

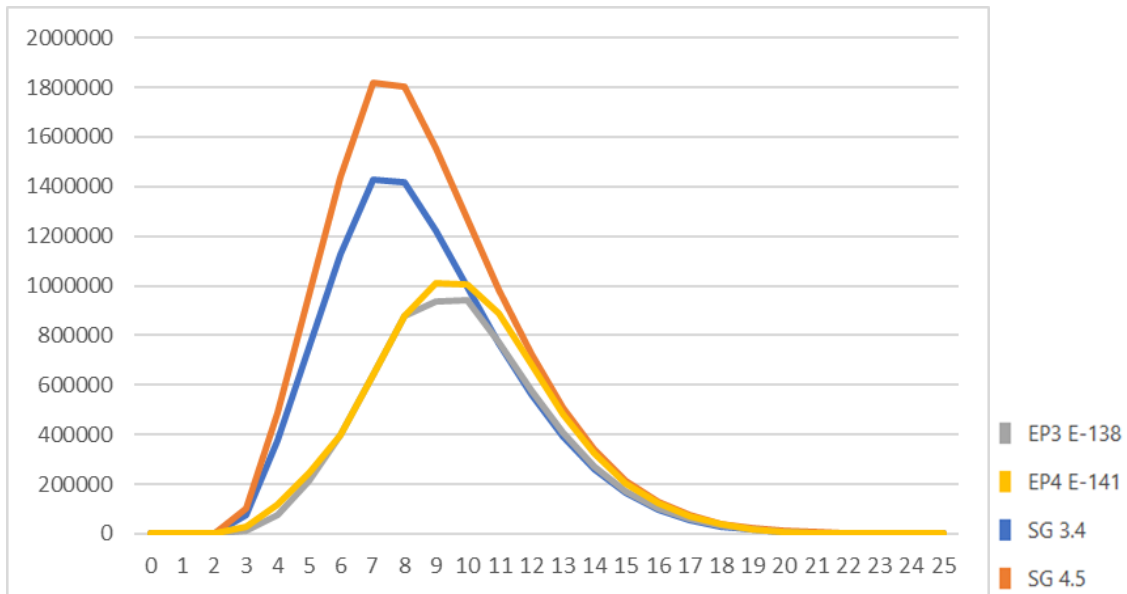


Ilustración 52. Producción de los aerogeneradores en kW

El factor de uso es el resultado de la división entre la Producción Anual entre la Producción Máxima (“Potencia máxima corregida del aerogenerador” por 8760 horas/año).

$$F.ut(\%) = \frac{Prod.}{Pnom * 8760}$$

Las horas de funcionamiento equivalentes se hallan con la división de la Producción Anual entre el Potencial Nominal unitario.

$$heq = \frac{Prod.}{Pnom}$$

	SG 3.4-132	SG 4.5-145	E-138 EP3	E-141 EP4
Factor de Uso (En tanto x1)	0.70691639	0.70544432	0.45498574	0.41757558
Horas de funcionamiento equivalente	5756.01019	5561.05071	3728.59904	3420.19458
Producción (kW)	19570434.65	25024728.17	13050096.66	14364817.24

Tabla 22. Tabla resumen de las Producciones de los modelos



Resumen del Análisis de Producción

Los aerogeneradores más productivos son los Siemens Gamesa. Resulta una gran ventaja tecnológica en estos modelos disponer de una curva de potencia con un crecimiento prácticamente lineal entre los intervalos de velocidades bajos (antes de llegar a los 8 y 10 metros por segundo).

Este hecho ha marcado la diferencia entre los modelos Enercon.

Siemens Gamesa presenta unos valores más altos tanto en la producción total como en el factor de uso y horas equivalentes de trabajo, por lo que tiene un mayor rendimiento.

Entre los aerogeneradores de la marca destacada, existen diferencias sutiles. Por un lado, el modelo SG 3.4 ofrece una producción considerablemente menor en comparación con el modelo SG 4.5 ya que, obviamente, este segundo modelo luce un mayor potencial nominal.

Sin embargo, aunque presenten un factor de uso similar, el modelo de menor Potencia (SG 3.4) tiene un porcentaje de uso ligeramente mayor y 200 horas equivalentes aproximadamente más de funcionamiento. Las diferencias son pequeñas y el análisis económico será decisivo para sacar conclusiones oportunas.

6.2 Análisis económico

Supuestos de partida

	Potencia Nominal (kW)	Inversión (€)	Producción (MW h)	Ingresos (€)	Gastos (€)
SG 3.4-132	3400	3400000	19570.4347	880669.562	-44033.4781
SG 4.5-145	4500	4500000	25024.7282	1126112.77	-56305.6385
E-138 EP3	3500	3500000	13050.09666	587254.35	-29362.717
E-141 EP4	4200	4200000	13590.8404	611587.818	-30579.3909

Tabla 23. Valores de Inversión, ingresos y gastos

Flujo de Caja

El flujo de caja es el resultado monetario al tener en cuenta los Ingresos y los gastos. En nuestro ejercicio, estos ingresos y gastos se repetirán cada año con el mismo valor, durante toda la vida útil de los aerogeneradores, esto es, 25 años.

Años	SG 3.4-132			SG 4.5-145		
	Inversión (€)	Gastos (€)	Ingresos (€)	Inversión (€)	Gastos (€)	Ingresos (€)
1	-3400000	-44033.4781	880669.562	-450000	-56305.6385	1126112.77
2		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
3		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
4		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
5		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
6		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
7		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
8		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
9		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
10		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
11		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
12		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
13		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
14		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
15		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
16		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
17		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
18		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
19		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
20		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
21		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
22		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
23		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
24		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77
25		-44033.4781	880669.562		-56305.6385	1126112.77

Tabla 24. Flujo de Caja durante la vida útil de las turbinas eólicas



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



Flujo de Caja de ENERCON E-138 EP3

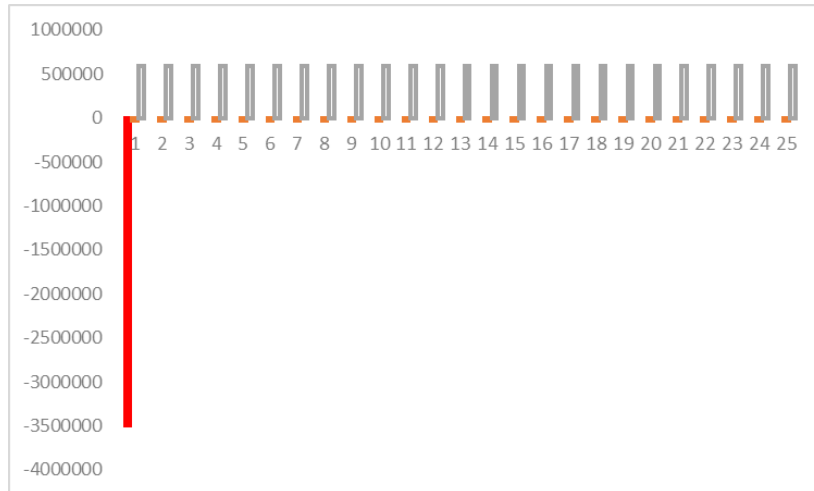


Ilustración 53. Flujo de Caja Enercon EP3

Flujo de Caja de ENERCON E-141 EP4

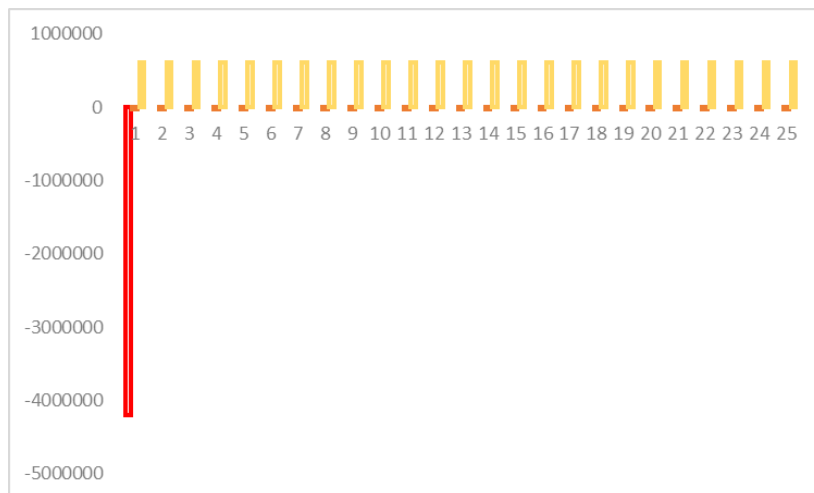


Ilustración 54. Flujo de Caja Enercon EP4



Valor Actual Neto y TIR

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+r)^t} - I$$

Para r , un valor de descuento del 10% y t los años de vida útil del aerogenerador.

Vt es el Flujo de Caja de cada año.

Si desarrollamos la ecuación tenemos los 4 VAN de cada modelo. Si igualamos el valor del VAN a 0, siendo el descuento nuestra nueva incógnita, tendremos el valor de TIR.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+TIR)^t} - I = 0$$

Todo esto nos lleva a los siguientes resultados:

	VAN (€)	TIR (%)
SG 3.4-132	4194179.21	12%
SG 4.5-145	5210682.14	11%
E-138 EP3	1564004.7	7%
E-141 EP4	1073836.74	6%



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



PayBack

Años	SG 3.4-132			SG 4.5-145		
	Inversion (€)	Flujo de Caja (€)	PayBack (€)	Inversion (€)	Flujo de Caja	PayBack (€)
1	-3400000	836636.0834	-2563363.92	-4500000	1069807.13	-3430192.87
2		836636.0834	-1726727.83		1069807.13	-2360385.74
3		836636.0834	-890091.75		1069807.13	-1290578.61
4		836636.0834	-53455.6663		1069807.13	-220771.478
5		836636.0834	783180.417		1069807.13	849035.653
6		836636.0834	1619816.5		1069807.13	1918842.78
7		836636.0834	2456452.58		1069807.13	2988649.91
8		836636.0834	3293088.67		1069807.13	4058457.04
9		836636.0834	4129724.75		1069807.13	5128264.17
10		836636.0834	4966360.83		1069807.13	6198071.31
11		836636.0834	5802996.92		1069807.13	7267878.44
12		836636.0834	6639633		1069807.13	8337685.57
13		836636.0834	7476269.08		1069807.13	9407492.7
14		836636.0834	8312905.17		1069807.13	10477299.8
15		836636.0834	9149541.25		1069807.13	11547107
16		836636.0834	9986177.33		1069807.13	12616914.1
17		836636.0834	10822813.4		1069807.13	13686721.2
18		836636.0834	11659449.5		1069807.13	14756528.3
19		836636.0834	12496085.6		1069807.13	15826335.5
20		836636.0834	13332721.7		1069807.13	16896142.6
21		836636.0834	14169357.8		1069807.13	17965949.7
22		836636.0834	15005993.8		1069807.13	19035756.9
23		836636.0834	15842629.9		1069807.13	20105564
24		836636.0834	16679266		1069807.13	21175371.1
25		836636.0834	17515902.1		1069807.13	22245178.3

Tabla 25. PayBack de Siemens Gamesa, años de recuperación de la inversión

Años	E-138 EP3			E-141 EP4		
	Inversion (€)	Flujo de Caja (€)	PayBack (€)	Inversion (€)	Flujo de Caja	PayBack (€)
1	-3500000	557891.633	-2942108.37	-4200000	581008.427	-3618991.57
2		557891.633	-2384216.73		581008.427	-3037983.15
3		557891.633	-1826325.1		581008.427	-2456974.72
4		557891.633	-1268433.47		581008.427	-1875966.29
5		557891.633	-710541.835		581008.427	-1294957.86
6		557891.633	-152650.202		581008.427	-713949.437
7		557891.633	405241.431		581008.427	-132941.01
8		557891.633	963133.064		581008.427	448067.417
9		557891.633	1521024.7		581008.427	1029075.84
10		557891.633	2078916.33		581008.427	1610084.27
11		557891.633	2636807.96		581008.427	2191092.7
12		557891.633	3194699.6		581008.427	2772101.13
13		557891.633	3752591.23		581008.427	3353109.55
14		557891.633	4310482.86		581008.427	3934117.98
15		557891.633	4868374.5		581008.427	4515126.41
16		557891.633	5426266.13		581008.427	5096134.83
17		557891.633	5984157.76		581008.427	5677143.26
18		557891.633	6542049.39		581008.427	6258151.69
19		557891.633	7099941.03		581008.427	6839160.11
20		557891.633	7657832.66		581008.427	7420168.54
21		557891.633	8215724.29		581008.427	8001176.97
22		557891.633	8773615.93		581008.427	8582185.4
23		557891.633	9331507.56		581008.427	9163193.82
24		557891.633	9889399.19		581008.427	9744202.25
25		557891.633	10447290.8		581008.427	10325210.7

Tabla 26. PayBack de Enercon, años de recuperación de la inversión



Resumen del Análisis económico

Otra vez recurrimos a unos valores económicos más positivos en los aerogeneradores Siemens Gamesa.

Como los costes están equiparados al potencial nominal, los modelos Enercon no implican una inversión más barata que el resto de las modelos, y su aprovechamiento energético resulta más precario, con lo cual nos aportan unos ingresos menores.

Por otra parte, los modelos de Siemens Gamesa disponen de valores VAN y TIR positivos y de mayor valor a los de Enercon.

El Valor Actual Neto representaría el valor de una inversión tras actualizar los ingresos futuros a una fecha actual. Si el valor es alto, nuestra inversión resulta más rentable.

El modelo SG 4.5 dispone de un mayor VAN que SG 3.4, con un margen de más de un millón de euros.

La Tasa Interna de Retorno representa el tipo de interés en el que el VAN se hace cero. Si el TIR fuera alto, es posible que el proyecto resulte rentable y suponga un retorno de la inversión equiparable a unos tipos de interés altos que probablemente no se hallen en el mercado.

En el caso de los modelos Siemens Gamesa, ambos son similares, siendo el SG 3.4 un 1% superior.

Teniendo en cuenta que ambos modelos tardan el mismo tiempo en rentabilizar la inversión (4 años), resulta más interesante el modelo de aerogenerador que aportaría un millón de euros más, el SG 4.5 (y que además dispone de una mayor producción energética).



7. Resumen y conclusiones

Según los análisis realizados se concluye que, para unos emplazamientos con un recurso de viento regular, entre 6,5 y 8 m/s, resultaría conveniente la instalación de aerogenerador con un alto potencial nominal y unos radios de palas amplios para vientos medios y bajos, capaces de recoger con mayor eficiencia el flujo de aire más predominante.

Los aerogeneradores por instalar en los emplazamientos serán del modelo Siemens Gamesa SG 4.5-145.

Entre los emplazamientos disponibles en Medio y Alto Vinalopó, el Interior de Alicante y la Marina Alta, se cuentan con 63 km para distribuir la línea de aerogeneradores.

Para unos diámetros de pala 145 m, y teniendo en cuenta las condiciones de espacio, podremos instalar 217 aerogeneradores.

Si cada aerogenerador cuenta con un potencial unitario de 4.5 MW, podemos afirmar finalmente que la capacidad energética de Alicante en la instalación de aerogeneradores ronda los 976,5 MW de potencia.

No es un valor extraordinario en comparación a la provincia de Castellón, que dispone de un recurso eólico mayor, y está preparado para aerogeneradores que admiten mayores velocidades.

Sin embargo, por otro lado, la provincia de Valencia, como se analiza en (Plà, 2016) ofrece la posibilidad de instalar un potencial de 1200 kW, similar a la situación de Alicante.

Estos 976,5 MW instalables suponen una cifra interesante, debido al poco espacio permitido en la región. Se recuerda que más del 70% del territorio se encuentra controlado por el marco de la Red Natura 2000.

Queda claro que en la provincia es posible instalar parques eólicos en zonas que se encuentran sin explotación. Prácticamente no hay ningún territorio ocupado por turbinas eólicas y su instalación conllevaría a una ayuda en la producción de energía eléctrica de un modo limpio y respetuoso con el medio ambiente.



8. Bibliografía y referencias

Asociación Empresarial Eólica. “Mapa eólico de la Comunidad Valenciana” [En línea].

<http://www.aeeolica.org/es/map/comunidad-valenciana/>

Enercon. “ENERCONE-141 EP4” [En línea].

<https://www.enercon.de/en/products/ep-4/e-141-ep4/>

Enercon. “ENERCONE-138 EP3” [En línea].

<https://www.enercon.de/en/products/ep-3/e-138-ep3/>

Enercon. “ENERCONE-126 EP4” [En línea].

<https://www.enercon.de/en/products/ep-4/e-126-ep4/>

Global Wind Energy Council [En línea].

<http://gwec.net/global-figures/graphs/>

Siemens Gamesa “SG 3.4-132” [En línea].

<https://www.siemensgamesa.com/es-es/products-and-services/onshore/aerogenerador-sg-3-4-132>

Siemens Gamesa “SG 4.5-145” [En línea].

<https://www.siemensgamesa.com/es-es/products-and-services/onshore/aerogenerador-sg-4-5-145>

Historia de la energía eólica [En línea].

<http://www.ammonit.com/es/informacion-eolica/energia-eolica>

Ignacio Guillén Gonzalvo, (2015). “Estudio de viabilidad técnico-económica de un parque eólico en el T.M el Perelló (Tarragona)”. Trabajo Final de Grado, Grado en Obras Públicas, Universidad Politécnica de Valencia.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Aplicativo del Atlas Eólico [En línea].

<http://atlaseolico.idae.es/>

Palacios Arnal, Ignacio (2017) “Estudio de alternativas para un parque de energía eólica en la Comunidad Valenciana. Provincia de Valencia.”. Trabajo Final de Grado, Grado en Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Valencia.



Estudio de viabilidad para la instalación de un parque de energía eólica en la provincia de Alicante.



Pérez Martín, Miguel Angel (2017). "T.2 Energías renovables. Energía eólica" en Aprovechamientos hidráulicos y energéticos, asignatura optativa de 4º del Grado en Ingeniería Civil, pp. 1-42.

Ramon-Llin Pla, (2016). Rafel Ramon-Llin Pla "Estudio de alternativas para un parque de energía eólica en la Comunidad Valenciana. Provincia de Valencia.". Trabajo Final de Grado, Grado en Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Valencia.

REE. Redes eléctricas de España [En línea]

<http://www.ree.es/es/>